

KAURAN (*Avena sativa* L.) TAUDINKESTÄVYYS *FUSARIUM CULMORUM*- JA *FUSARIUM LANGSETHIAE* -SIENIÄ VASTAAN

Emmi Mykrä
Maisterintutkielma
Helsingin yliopisto
Maataloustieteiden laitos
Kasvipatologia
Toukokuu 2013

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Maataloustieteiden laitos	
Tekijä — Författare — Author Mykrä Emmi Katariina			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Kauran (<i>Avena sativa</i> L.) taudinkestävyys <i>Fusarium culmorum</i> - ja <i>Fusarium langsethiae</i> -sieniä vastaan			
Oppiaine — Läroämne — Subject Kasvipatologia			
Työn laji — Arbetets art — Level Maisterintutkielma	Aika — Datum — Month and year Toukokuu 2013	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 74	
<p>Tiivistelmä — Referat — Abstract</p> <p>Kaura (<i>Avena sativa</i> L.) on viljakasvi, jota tuotetaan rehu- ja ruokateollisuuden käyttöön. Suomessa kaura on ohran jälkeen käytetyin rehuvilja ja sitä viedään myös runsaasti ulkomaille. Vuonna 2011 kauraa viljeltiin Suomessa 308 200 ha alalla, jolloin keskimääräinen hehtaarisato oli 3390 kg. Kauran viljelyssä satotappioita aiheuttavat useat sien- ja virustaudit. Varsinkin lauhkeilla ilmastovyöhykkeillä sienitaudeista yleisimpiä ovat <i>Fusarium</i>-sukuun kuuluvien sienten aiheuttamat punahomeet. Sienirihmastona tai itiöinä säilyvät <i>Fusarium</i>-sienet tuottavat erilaisia hometoksiineja, joita kutsutaan mykotoksiineiksi. Suomessa <i>Fusarium culmorum</i> -sieni on kauralla yleinen DON-toksiineja tuottava laji ja <i>Fusarium langsethiae</i> kauralla yleistynyt T-2- ja HT-2-toksiineja tuottava sienilaji. Toksiinit heikentävät sadon laatua ja tekevät siitä jopa käyttökelvottoman. Ruokaturvallisuuden varmistamiseksi viljoille ja niistä tehdyille tuotteille on vakiinnutettu tietyt toksiinipitoisuusrajat.</p> <p>Tämä tutkielma on osa Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) Hyötygeeni-hankkeeseen liittyvää tutkimusta. Tutkielman tavoitteena oli selvittää kahdeksan kauralajikkeen taudinkestävyyttä <i>F. culmorum</i>- ja <i>F. langsethiae</i> -sieniä vastaan. Tarkoituksena oli myös tutkia, onko kauralajikkeiden kestävyys samankaltainen näitä kahta <i>Fusarium</i>-sientä vastaan. Tutkimus toteutettiin kasvihuonekokeina käyttäen keinotekoisia <i>Fusarium</i>-tartuntaa. Kestävyyttä mitattiin kauran itävyydellä sekä infektoituneiden jyvien ja jyvissä olleiden toksiinien määrällä. Tulokset osoittivat, että neljällä lajikkeella oli yhtä hyvä taudinkestävyys sekä <i>F. culmorum</i>- että <i>F. langsethiae</i> -sientä vastaan. Kolmella lajikkeella kestävyys näytti olevan hieman heikompi <i>F. culmorum</i>- kuin <i>F. langsethiae</i> -sientä vastaan. Ainoastaan yhdellä lajikkeella kestävyys oli heikompi <i>F. langsethiae</i>- kuin <i>F. culmorum</i> -sientä vastaan. Lajikkeessa mahdollisesti ilmenevä kestävyys useampaa <i>Fusarium</i>-lajia vastaan tukisi ja helpottaisi kauran taudinkestävyysjalostusta punahomeita vastaan. Ilmastomuutoksen aiheuttama lämpeneminen lisää tulevaisuudessa kasvitautiriskiä, jolloin kestävien viljelylajikkeiden jalostuksen merkitys korostuu.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Kaura, <i>Avena sativa</i> L., <i>Fusarium culmorum</i> , <i>Fusarium langsethiae</i> , punahome, mykotoksiinit, taudinkestävyys, kasvinjalostus			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Viikin tiedekirjasto ja Maataloustieteiden laitos			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Työtä ohjasi erikoistutkija MMT Marja Jalli			

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET —
UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and forestry		Laitos — Institution — Department Department of Agricultural sciences	
Tekijä — Författare — Author Mykrä Emmi Katariina			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Resistance of oat (<i>Avena sativa</i> L.) to <i>Fusarium culmorum</i> and <i>Fusarium langsethiae</i>			
Oppiaine — Läroämne — Subject Plant pathology			
Työn laji — Arbetets art — Level Master's thesis		Aika — Datum — Month and year May 2013	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 74
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Oat (<i>Avena sativa</i> L.) is a crop grown for feed and for food industry. It is the most used fodder plant after barley in Finland and is also exported. In 2011, oat was grown on 308 200 hectares in Finland and the average yield per hectare was 3390 kg. Several fungal and virus diseases cause remarkable crop losses in oats. Especially in the temperate zone, the most common disease is the head blight caused by <i>Fusarium</i> species. These fungi overwinter as mycelium or spores and produce mycotoxins. In Finland, <i>F. culmorum</i> is a common DON toxin producer and <i>F. langsethiae</i> is a T-2/HT-2 toxin producer in oats. Toxins affect the quality of oat yield and can make it unsuitable for use. Therefore, the amounts of mycotoxin allowed in cereals are stipulated by food safety authorities.</p> <p>This thesis was a part of MTT Agrifood Research Finland's Hyötygeeni project. The aim of the research was to study resistance of eight oat cultivars to <i>F. culmorum</i> and <i>F. langsethiae</i>. Indicators of resistance were germination of the infested seeds, the proportion of infected seeds and the amounts of mycotoxins. The trials were made in greenhouse with artificial inoculations.</p> <p>The results indicated that four cultivars expressed similar levels of resistance to both <i>Fusarium</i> species. Three cultivars had better resistance to <i>F. langsethiae</i> than <i>F. culmorum</i> and only one cultivar had better resistance to <i>F. culmorum</i> than <i>F. langsethiae</i>. In future research, the results can be utilized in resistance breeding. Global warming will increase the risk of plant diseases. On that account importance of breeding will be emphasized.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Oat, <i>Avena sativa</i> L., <i>Fusarium culmorum</i> , <i>Fusarium langsethiae</i> , Fusarium head blight, mycotoxins, disease resistance, plant breeding			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Viikki science library and Department of Agricultural Sciences			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Supervisor Principal Research Scientist Dr. Marja Jalli			

SISÄLLYS

LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
2 KAURA	8
2.1 Taksonomia ja morfologia.....	8
2.2 Viljely Suomessa.....	8
2.3 Kauran käyttö ja markkinat Suomessa	9
3 KAURAN KASVITAUDIT	10
3.1 Sienitaudit.....	10
3.1.1 Kauranlehtilaikku	10
3.1.2 Kauranavonoki	11
3.1.3 Rengasruoste	11
3.1.4 Mustaruoste.....	12
3.1.5 Härmä.....	13
3.2 Virustaudit	13
3.2.1 Kaurantyviviersoviroosi	13
3.2.2 Viljan kääpiökasvuviroosi	14
4 PUNAHOMEET VILJAN TAUTEINA	15
4.1 Punahometta aiheuttavat <i>Fusarium</i> -sienet.....	15
4.2 <i>Fusarium</i> -sienten tuottamat hometoksiinit.....	19
4.3 Hometoksiinien vaikutus sadon laatuun.....	20
5 KAURAN KASVITAUTIEN HALLINTA.....	21
5.1 Viljelytekniikka	21
5.2 Kemiallinen torjunta	22
5.3 Taudinkestävyys	23
6 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET	25
7 AINEISTO JA MENETELMÄT	26
7.1 Kasvimateriaali.....	26
7.2 Tartukemateriaali	26
7.3 Koemalli	27
7.4 Kasvihuonekoe	27
7.4.1 Kylvö.....	27
7.4.2 Tartutus	28
7.4.3 Näytteenotto	29
7.5 <i>Fusarium</i> -sienten määrä kauralajikkeissa	31
7.6 Toksiinimääritykset	31
7.7 Itävyysmääritykset.....	32
7.8 Tilastolliset analyysit.....	33

8 TULOKSET	34
8.1 <i>Fusarium</i>-sienten määrä kauralajikkeissa	34
8.1.1 <i>Fusarium</i> -sienten määrä lajikkeissa ensimmäisellä ja toisella näytteenottokerralla	34
8.1.2 <i>Fusarium</i> -sienten määrä röyhyn ylä- ja alaosissa	35
8.1.3 <i>Fusarium</i> -sienten määrä satonäytteissä	37
8.2 <i>Fusarium</i>-tartunnan vaikutus lajikkeiden jyväsadon määrään	39
8.3 Toksiinipitoisuudet kauralajikkeissa	42
8.4 Kaurasatojen itävyystulokset	46
9 TULOSEN TARKASTELU	51
9.1 <i>Fusarium</i> -sienten määrä kauralajikkeissa	51
9.2 <i>Fusarium</i> -sienten vaikutus jyväsadon määrään	53
9.3 Kauralajikkeiden toksiinipitoisuudet	53
9.4 <i>Fusarium</i> -tartunnan vaikutus sadon itävyyteen	56
10 JOHTOPÄÄTÖKSET	59
11 KIITOKSET	60
LÄHTEET	61
LIITE 1 VILJOJEN KASVUASTEET	70
LIITE 2 PCNB- JA PDA-MALJOJEN VALMISTUSOHJEET	73
LIITE 3 PELTOKASVIEN SADONLAATU, VIRALLINEN ITÄVYYSMÄÄRITYS	74

LYHENTEET

3-AcDON	3-asetyylideoksinivalenoli
15-AcDON	15-asetyylideoksinivalenoli
DAS	Diasetoksiskirpenoli
DON	Deoksinivalenoli
F-X	Fusarenon X
HT-2	<i>Fusarium</i> -sienten tuottama hometoksiini C ₂₂ H ₃₂ O ₈
NIV	Nivalenoli
PCNB	Pentakloronitrobentseeni, pentachloronitrobenzene
PDA	Perunadekstroosiagar, potato dextrose agar
T-2	<i>Fusarium</i> -sienten tuottama hometoksiini C ₂₄ H ₃₄ O ₉

1 JOHDANTO

Kaura (*Avena sativa* L.) on viileissä ilmasto-olosuhteissa viihtyvä viljakasvi (Bjørnstad ja Skinnnes 2008), jota tuotetaan sekä ruoka- että rehuteollisuuden tarpeisiin. Suomessa kaura on ohran jälkeen suosituin rehukasvi (Matilda 2012c) ja Euroopassa Suomi on merkittävä kaurantuottajamaa (Maa- ja metsätalousministeriö 2006). Kaura on kasvattanut suosiotaan kuluttajien keskuudessa muun muassa terveysvaikutuksiensa vuoksi (Andon ja Anderson 2008).

Kauralla sadonlaatua heikentävät *Fusarium*-sienten aiheuttamat punahomeet. Nämä homesienet tuottavat aineenvaihduntatuotteinaan hometoksiineja, jotka ovat myrkyllisiä sekä ihmisille että eläimille. Merkittävimpiä näistä toksiineista ovat deoksinivalenoli (DON), T-2- ja HT-2-toksiinit. Elintarvike- ja rehuteollisuudessa käytettävän viljan hometoksiinipitoisuuksille on asetettu enimmäisrajat ja suositukset (Vilja-alan yhteistyöryhmä 2012).

Fusarium-sukuun kuuluvista sienistä Suomessa yleisimpiä ovat DON-toksiinia tuottavat *F. culmorum* (W.G. Smith) Sacc. ja *F. graminearum* Schwabe (Ylimäki ym. 2002, 2004; Ylimäki ym. 1979). *F. langsethiae* Torp & Nirenberg -sienen on puolestaan havaittu viime vuosina yleistyneen huomattavasti Pohjoismaissa (Edwards ym. 2009; Parikka 2008d). Tämä sieni viihtyy hieman viileämmissä olosuhteissa kuin muut *Fusarium*-lajit ja on pääasiallinen T-2- ja HT-2-toksiinien tuottaja (Edwards ym. 2009). Ilmastonmuutoksen aiheuttama ilmaston lämpeneminen edesauttaa *Fusarium*-sienten lisääntymistä (Parikka ym. 2012). Kaurakasvuston punahomeriskiä kasvattavat myös muuttuneet viljelymenetelmät. Viljelijät suosivat entistä enemmän esimerkiksi suorakylvöä, jonka on todettu lisäävän huomattavasti *Fusarium*-infektion mahdollisuutta (Chambeil ym. 2004).

Tämä tutkielma oli osa Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen Hyötygeeni-hanketta. Tutkielman tavoitteena oli selvittää kuinka kestäviä kauralajikkeet ovat *F. culmorum*- ja *F. langsethiae* -sieniä vastaan. Tämän lisäksi tarkasteltiin, ovatko lajikkeet kestäviä molempia *Fusarium*-lajeja vastaan.

2 KAURA

2.1 Taksonomia ja morfologia

Kaura (*Avena sativa* L.) on yksivuotinen tuulipölytteinen viljelykasvi (Mossberg ja Stenberg 2003). Se kuuluu taksonomisessa järjestelmässä kuntaan *Plantae*, kaareen *Magnoliophyta* (siemenkasvit), alakaareen *Magnoliophytina*, luokkaan *Liliopsida* (yksisirkkaiset), lahkoon *Poales* ja heimoon *Poaceae* (heinäkasvit). Kaura on tärkeä vilja- ja rehukasvi Suomessa (Pinkka 2012).

Kaura kasvaa 70–120 cm korkeaksi. Korsi on pysty ja koheneva. Korren nivelkohdat ovat täyteisiä solmuja. Kauralla on avoimet ja korvakkeettomat lehtitupet sekä leveä ja litteä lehtilapa (Pinkka 2012). Harsu röyhy on 10–20 cm pituinen ja sirottavahaarainen. Tähkylät ovat kookkaat (17–30 mm), nuokkuvat sekä 2-3-kukkaiset. Kauran kukista kaksi on fertiiliä ja yksi marto. Kaleet ovat 7-11-suoniset ja samanpituiset. Ulkohelve on puolestaan kalvomainen, lovipäinen, 7-9-suoninen, kalju, viistokärkinen ja pituudeltaan 12–25 mm. Kaura voi olla joko vihneetön tai pitkävihneinen. Yleensä vihne on vankka ja kaareva (Mossberg ja Stenberg 2003). Kauran jyvä on yksisiemeninen pähkylä, jossa hedelmäseinä ja siemenkuori ovat kasvaneet yhteen (Pinkka 2012).

2.2 Viljely Suomessa

Suomessa on käytössä kaikkiaan 2,3 miljoonaa hehtaaria peltoalaa, josta viljalla vuonna 2012 oli 1 150 000 hehtaaria. Vuodesta 2011 vilja-ala kasvoi 4 % (Matilda 2012a). Vuonna 2011 kauran tuotanto vehnän ohella kasvoi eniten muihin viljalajeihin ja vuoteen 2010 verrattuna (Matilda 2012f). Vuonna 2011 kauraa viljeltiin Suomessa 308 200 ha alalla. Kasvua tapahtui 11 % vuodesta 2010. Alueittain eriteltynä vuonna 2011 kauran viljelyala oli suurin Etelä-Pohjanmaalla (43 600 ha). Lähes yhtä suurella alalla kauraa viljeltiin Pirkanmaalla (35 500 ha), Satakunnassa (32 300 ha) ja Hämeessä (30 000 ha). Pienimmät viljelyalat olivat Lapissa (200 ha) ja Kainuussa (1 100 ha) (Matilda 2012d).

Vuonna 2011 kauran keskimääräinen hehtaarisato koko maassa oli 3390 kg ja vuonna 2010 2910 kg. Kokonaissato oli 1 043 milj. kg vuonna 2011 ja 810 milj. kg vuonna 2010. Kokonaissadon määrä kasvoi 29 % vuodesta 2010. Pitkällä aikavälillä (2001–2010) kauran keskisato oli 3190 kg/ha (Matilda 2012e).

2.3 Kauran käyttö ja markkinat Suomessa

Suomessa kaura on merkittävä viljakasvi sekä ruoka- että rehuteollisuudessa. Kaura on ohran jälkeen eniten käytetty rehuvilja ja sen vuosittaisesta käytöstä noin 80 % on rehukäyttöä (Matilda 2012c). Satovuoden 2011–2012 (1.7.2011–30.6.2012) aikana kauraa käytettiin rehuksi yhteensä 465 milj. kg, josta teollisuuden käytössä oli 139 milj. kg ja maatiloilla 326 milj. kg (Matilda 2012b).

Kauraa oli ruokakäytössä teollisuudessa 64,0 milj. kg ja maatiloilla 1,40 milj. kg (Matilda 2012b). Ruokateollisuudessa kauran kulutus lisääntyy, kun pitkälle jalostettujen viljatuotteiden ja terveyttä edistävien tuotteiden suosio kasvaa. Kaura soveltuu erityisesti gluteenittomaan ruokavalioon ja on myös hyvä lastenruokateollisuuden raaka-aine (Maa- ja metsätalousministeriö 2006).

Kansainvälisesti Suomi on merkittävä kauran tuottajamaa (Matilda 2012c). Satovuonna 2011–2012 (1.7.2011–30.6.2012) kauran tuontia Suomeen ei ollut, mutta vienti oli 364 milj. kg (Matilda 2012b). Kauraa viedään muun muassa Yhdysvaltoihin, Venäjälle ja muihin Euroopan maihin (Maa- ja metsätalousministeriö 2006). Ruoka- ja rehuteollisuuden lisäksi kauraa tuotetaan siemenviljaksi. Kauraa poltetaan myös energiaksi maatiloilla ja sitä hyödynnetään muussa teollisessa käytössä kuten etanolin ja tärkkelyksen valmistuksessa (Matilda 2012b).

3 KAURAN KASVITAUDIT

3.1 Sienitaudit

3.1.1 Kauranlehtilaikku

Kauranlehtilaikku (aiheuttaja *Pyrenophora chaetomioides* Speg.) on yksi yleisimmistä ja tärkeimmistä kauralla esiintyvistä sienitaudeista Suomessa. Taudinaiheuttaja kuuluu taksonomisessa järjestelmässä kuntaan sienet, kaareen *Ascomycota*, luokkaan *Dothideomycetes* ja lahkoon *Pleosporales* (Hannukkala ym. 2010). Tauti leviää lähinnä kylvösiemenen välityksellä, mutta sieni pystyy säilymään myös tartunnan saaneessa olki- ja sänkijätteessä (Jalli ja Parikka 2012).

Ensimmäiset oireet näkyvät kaurassa yleensä heti orastumisen jälkeen, jolloin ensimmäiselle kasvulehdelle muodostuu pieni punertava tai tumma laikku, jonka keskellä on vaalea piste. Ajan kuluessa laikut muuttuvat punertavan ruskeiksi ja pitenevät. Tämä on merkki siementartunnasta, joka voi johtaa kasviyksilön kuolemaan. Sieni muodostaa kuromia, jotka kehittyvät lehdessä olevassa laikussa ja leviävät tuulen mukana. Ne levittävät kasvukaudella tautia terveisiin lehtiin, joihin muodostuu ensin pieniä punaisia pistemäisiä laikkuja. Myöhemmin laikut muuttuvat kellertävän punaruskeiksi. Kauralle tartunta on erityisen kohtalokasta röyhylletulovaiheessa, jolloin lehdet voivat tuhoutua ennenaikaisesti (Jalli ja Parikka 2012).

Kauranlehtilaikku voi aiheuttaa merkittäviä satotappioita alttiilla lajikkeilla varsinkin sateisina vuosina. Tautia voidaan torjua viljelykierrolla, viljelemällä kestäviä lajikkeita ja peittaamalla kylvösiemenet. Tehokkaimpia peittausaineita ovat triadimenoli-, prokloratsi- ja imatsaliili-valmisteet. Kauranlehtilaikkua voidaan torjua myös kasvustoruisukuksilla korrenkasvun alusta aina röyhylle tuloon asti. Paras torjuntatulos saadaan kuitenkin lippulehtivaiheessa (Jalli ja Parikka 2012).

3.1.2 Kauranavonoki

Kauranavonoki (aiheuttaja *Ustilago avenae* (Pers.) Rostr.) on siemenlevintäinen kasvitauti (Kasvinsuojeluseura ry. 2013). *U. avenae* -sieni kuuluu taksonomisessa järjestelmässä kuntaan sienet, kaareen *Basidiomycota*, luokkaan *Ustilaginomyces* ja lahkoon *Ustilaginales* (Hannukkala ym. 2010).

Taudinaiheuttaja tuhoaa tähkylöiden kaikki osat ja muuttaa ne mustaksi noki-itiöpölyksi. Itiöt kulkeutuvat tuulen mukana terveiden kasvien tähkylöihin ja infektoivat ne. Infektoitunut kasvusto on usein tervettä lyhyempää ja nokiröyhyt tulevat esiin vasta myöhemmin. Sieni pystyy talvehtimaan jyvän kuoren alla joko rihmastona tai itiöinä (Jalli ja Parikka 2012). Taudinkehitykselle on otollisinta, jos kaura itää ja orastuu kuivassa, lämpimässä maassa. Kauranavonoki alentaa satoa, mutta ei tee siitä käyttökelvotonta. Sertifioidulle kylvösiemenelle on määritetty tietyt noki-itiöiden raja-arvot. Kauranavonokea saa olla alle 1000 itiötä grammassa kylvösiementä. Siementen peittämistä suositellaan, jos itiöitä on 1000–5000 grammassa kylvösiementä. Jos määrä nousee yli 5000 itiöön, peittäminen on pakollista. Avonokea voi torjua peittämällä siemenet esimerkiksi karboksiinia, triadimenolia tai tritikonatsolia sisältävillä peittausaineilla. Tautia voi ehkäistä myös viljelemällä kuoretonta kauraa, jolloin sienen talvehtiminen estyy (Kasvinsuojeluseura ry. 2013).

3.1.3 Rengasruoste

Kaura on ainut viljakasvi, jolla esiintyy rengasruostetta (Jalli ja Parikka 2012). Rengasruosteen taudinaiheuttaja *Puccinia coronata* Corda kuuluu kuntaan sienet, kaareen *Basidiomycota*, luokkaan *Pucciniomycetes* ja lahkoon *Pucciniales* (Hannukkala ym. 2010). *P. coronata* muodostaa lehden pinnalle sekä punaruskeita kesäitiöryhmiä että kiiltävän mustia talvi-itiöryhmiä. Talvi-itiöt muodostavat epätasaisia ryhmiä kesäitiöryhmien ympärille. Sienen väli-isäntänä toimii orapaatsama (Jalli ja Parikka 2012).

Rengasruoste on ongelmallinen erityisesti kasvukauden lopulla ja saattaa alentaa sekä sadon määrää että laatua. Tautia voi torjua hävittämällä orapaatsamat kaurakasvustojen läheisyydestä ja viljelemällä kestäviä lajikkeita (Agrios 2005). Kemiallisesti tautia voi torjua strobiluriini-seoksilla ja propikonatsolia sisältävillä valmisteilla (Jalli ja Parikka 2012).

3.1.4 Mustaruoste

Mustaruoste on *Puccinia graminis* Pers. -sienen aiheuttama kasvitauti. Sieni sijoittuu taksonomisessa järjestelmässä rengasruosteen tavoin kuntaan sienet, kaareen *Basidiomycota*, luokkaan *Pucciniomycetes* ja lahkoon *Pucciniales* (Hannukala ym. 2010). Mustaruosteella on ruskeita kesä- ja mustia talvi-itiöitä, jotka muodostavat pesäkkeitä kauran korsille ja lehtitupille. Näiden ilmaveikintäisten itiöiden avulla sieni infektoi terveitä kasveja. Mustaruoste leviää hyvin lämpimissä ja kuivissa olosuhteissa (Jalli ja Parikka 2012).

Sienen väli-isäntäkasvi on happomarjapensas. Happomarjapensaiden hävittäminen kaurakasvustojen läheisyydestä on vähentänyt *P. graminis* -tartuntojen määrää Suomessa. Tästä huolimatta sienen itiöt kulkeutuvat tuulen mukana pitkiäkin matkoja ja Suomeen ne päätyvät yleensä Baltian maista. Mustaruoste voi aiheuttaa ankaria satotappioita, varsinkin happomarjapensaiden läheisyydessä olevissa kaurakasvustoissa (Kasvinsuojeluseura ry. 2013). Mustaruostetartunnat ilmenevät yleensä vasta myöhään kasvukaudella, joten kemiallinen torjunta on harvoin kannattavaa. Kasvustoruiskutuksia voidaan tehdä ruostesieniä vastaan tarvittaessa kukinnan alkamiseen asti. Tehokkaimpia aineita ruosteiden torjuntaan ovat strobiluriini-seokset ja propikonatsolia sisältävät valmisteet (Jalli ja Parikka 2012).

3.1.5 Härmä

Blumeria graminis (DC.) Speer on härmää aiheuttava sieni, joka infektoi erityisesti vehnää ja ohraa, mutta myös kaura kuuluu sienen isäntäkasvistoon (Jalli ja Parikka 2012). *B. graminis* kuuluu kuntaan sienet, kaareen *Ascomycota*, luokkaan *Leotiomycetes* ja lahkoon *Erysiphales* (Hannukkala ym. 2010). Jokaisella viljalajilla on sienestä oma alalajinsa, joka tartuttaa ainoastaan omaa isäntäkasviaan. Tämän vuoksi härmä ei pysty siirtymään viljalajista toiseen (Jalli ja Parikka 2012).

Härmän ensimmäiset oireet ilmaantuvat lehtien yläpinnoille ja lehtituppiin pieninä, valkoisina, jauhomaisina täplinä. Näissä pesäkkeissä kehittyy runsaasti itiöitä, jotka leviävät tuulen mukana terveisiin kasveihin. Valkoiset pesäkkeet harmaantuvat hiljalleen ja sienirihmaston joukkoon muodostuu tummanruskeita kotelorakkoja. Ne ovat sienen suvullinen kehitysaste. *B. graminis* tarvitsee säilyäkseen elävän isäntäkasvin, jonka pinnalla se talvehtii rihmastona. Taudinkehitys on nopeaa kosteissa olosuhteissa ja noin 18–22 °C:ssa (Jalli ja Parikka 2012).

Kauranhärmää esiintyy harvoin Suomessa, koska saastuntalähteitä ei ole. Tarvittaessa tautia voidaan torjua kasvustoruisuuksilla. Tehokkaimpia torjunta-aineita ovat fenpropidiini, fenpropimorfi tai syprodiniili sekä propikonatsoli-valmisteet (Kasvinsuojeluseura ry. 2013).

3.2 Virustaudit

3.2.1 Kaurantyviviersoviroosi

Kauran tyviviersovirus (*Oat sterile dwarf virus*, OSDV) on kaskaiden (*Delphacidae*) levittämä kauran virustauti. Taudinaiheuttaja kuuluu *Fijivirus*-sukuun ja *Reoviridae*-heimoon (Descriptions of Plant Viruses 2012a). OSDV aiheuttaa runsasta sivuversonmuodostamista ja kauran kääpiöitymistä. Lehdet muuttuvat jäykiksi ja tummanvihreiksi (Jalli ja Parikka 2012).

Tyviversovirus pystyy talvehtimaan esimerkiksi monivuotisissa heinäkasveissa (Descriptions of Plant Viruses 2012a). Tautia lisäävät suorakylvö, talviaikaiset sänkipellot ja peltoja ympäröivät suojakaistat. Näiden on todettu parantavan viruksen vektoreina toimivien kaskaiden talvehtimista (Jalli ja Parikka 2012). Taudilla on merkittävä satoa heikentävä vaikutus. 1950-luvun jälkeen taudin merkitys väheni ja 1990-luvulla tehtiin vain muutamia tautihavaintoja. Muuttuneiden kylvötekniikoiden myötä taudin esiintymisriski on jälleen kasvanut ja havaintoja on tehty 30 vuoden tauon jälkeen Vaasan rannikkoseudulta. Tautia voidaan ehkäistä esimerkiksi viljelymaan muokkauksella (Kasvinsuojeluseura ry. 2013).

3.2.2 Viljan kääpiökasvuviroosi

Suomessa merkittävin viljakasvien virustauti on viljan kääpiökasvuviroosi, joka on ohran kääpiökasvuviruksen (*Barley yellow dwarf virus*, BYDV) aiheuttama (Jalli ja Parikka 2012). Virus kuuluu heimoon *Luteoviridae*. Satomenetykset voivat olla merkittäviä, jos tartunta tapahtuu kasvukauden alussa (Descriptions of Plant Viruses 2012b).

BYDV säilyy sekä luonnonvaraisissa että viljellyissä monivuotisissa heinissä. Tuomikirvat levittävät virusta heinistä viljojen oraisiin. Jos kaura saa virustartunnan aikaisin, sen röyhylletulo voi estyä kokonaan. Kaurakasvuston punertuminen 2-3 viikon kuluttua tartunnasta ja matalaksi jääminen ovat merkkejä virustartunnasta (Jalli ja Parikka 2012).

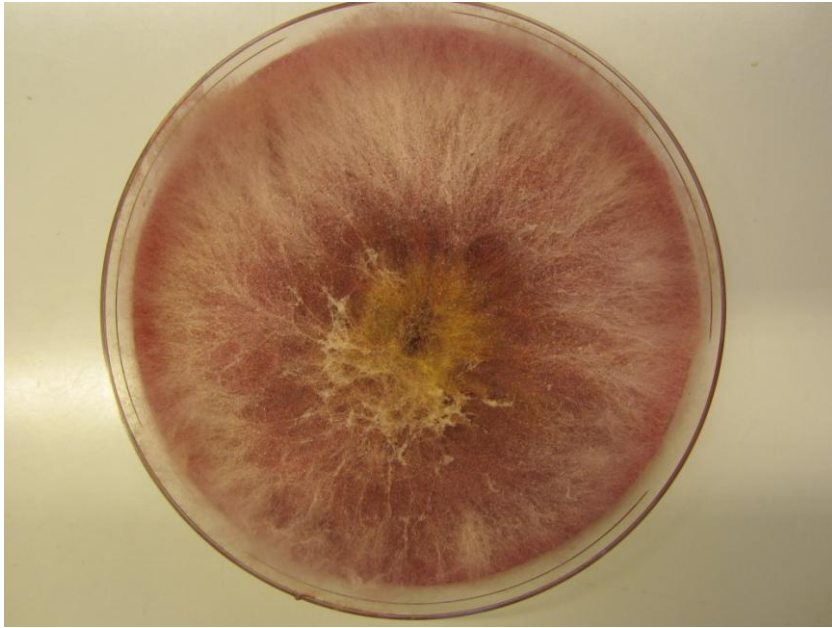
Viruksen aiheuttamat satotappiot voivat olla hyvin suuret varsinkin kirjavuosina, jolloin viroosia esiintyy epidemianluonteisesti (Kasvinsuojeluseura ry. 2013). Viroosia voidaan vähentää kylvämällä viljat aikaisin keväällä, jolloin orailla on aikaa vahvistua ennen kirjahuippua. Tautia voidaan ehkäistä myös kemiallisella torjunnalla, joka kohdistuu aikaisin kasvustoon tuleviin kirvoihin. Toisinaan kasvustossa saattaa olla sisäinen tartunnanlähde kuten juolavehnä, jonka hävittäminen vähentää viroosia (Jalli ja Parikka 2012).

4 PUNAHOMEET VILJAN TAUTEINA

4.1 Punahometta aiheuttavat *Fusarium*-sienet

Fusarium-sukuun kuuluvat sienet ovat tärkeitä taudinaiheuttajia pienijyväsillä viljoilla varsinkin lauhkeilla ilmastovyöhykkeillä (Kokkonen ym. 2010). Sieni kuuluu taksonomisessa järjestelmässä kaareen *Ascomycota*, luokkaan *Sordariomycetes* ja lahkoon *Hypocreales* (Hannukkala ym. 2010). Sienen aiheuttama infektio kasvustossa johtaa yleensä sadon laadun ja määrän alenemiseen. Lisäksi useat näistä sienistä tuottavat sekundäärisiä aineenvaihduntatuotteita eli mykotoksiineja (Kokkonen ym. 2010). *Fusarium*-sienten aiheuttamalla punahomeella on kaksi tautimuotoa, tyvitauti ja punahome. Tyvitaudissa sieni aiheuttaa korren ensimmäisen nivelsolmun alapuolelle ruskeita viiruja tai laikkuja. Taudin edetessä ne laajenevat ja koko tyviosa muuttuu ruskeaksi ja hauraaksi. Suomessa yleisimmät tyvitaudin aiheuttajat ovat *F. avenaceum* ja *F. culmorum*. Toisessa tautimuodossa, punahomeessa, *Fusarium*-sieni aiheuttaa punahometartunnan viljan tähkiin. Samat *Fusarium*-lajit aiheuttavat sekä tyvitauteja että punahometta (Kasvinsuojelu-seura ry. 2013).

Suomessa yleisimpiä *Fusarium*-lajeja ovat *Fusarium avenaceum* (Fr.) Sacc., *F. tricinctum* (Corda) Sacc., *F. culmorum* (Kuva 1), *F. graminearum*, *F. langsethiae*, *F. sporotrichioides* Sherb. ja *F. poae* (Peck) Wollenw. (Ylimattila ym. 2002, 2004; Ylimäki ym. 1979). Maailmanlaajuisesti merkittävimmät, punahometta aiheuttavat ja DON-toksiinia tuottavat sienet ovat *F. graminearum* ja *F. culmorum* (Bottalico ja Perrone 2002; Goswami ja Kistler 2004).



Kuva 1. *F. culmorum* -kasvusto PDA-maljalla (kuva: Emmi Mykrä).

Tutkimukset ovat osoittaneet, että *F. langsethiae* -sienen (Kuva 2) merkitys kasvaa tulevaisuudessa etenkin Suomessa ja muualla Pohjois-Euroopassa (Edwards ym. 2009; Parikka 2008d). Sienen uskotaan olevan tällä alueella myös tärkein T-2- ja HT-2-toksiinien tuottaja (Edwards ym. 2009).



Kuva 2. *F. langsethiae* -kasvusto PDA-maljalla (kuva: Päivi Parikka).

Fusarium-sieni säilyy maassa, siemenissä ja kasvijätteessä sienirihmastona tai itiöinä, jos isäntäkasvia ei ole lähettyvillä (Agrios 2005). Sieni muodostaa itiöemiä, joita kutsutaan kotelopulloiksi (Stephens ym. 2008). Kypsistä kotelopulloista vapautuu koteloiitiöitä (Trail ym. 2002), jotka ovat muodostuneet kasvijätteen pinnalla (Parry ym. 1995; Sutton 1982) ja infektoivat viljakasveja kukinnan aikana. Tätä edesauttavat suotuisat ilmasto-olosuhteet, kuten korkea ilmankosteus (Stephens ym. 2008). Koteloiitiöt leviävät isäntäkasveihin tuulen, sateen ja hyönteisten mukana (Parry ym. 1995; Sutton 1982).

Fusarium-sieni voi aiheuttaa myös juuristotartunnan. Itiöistä itävä sienirihmasto tunkeutuu juuren johtosolukkoon eli ksyleemiin. Sieni liikkuu ja lisääntyy kasvin sisällä rihmastonsa avulla. Kasvin johtosolukko tuhoutuu ja ksyleemin vedenkuljetus häiriintyy, mikä aiheuttaa isäntäkasvin kuivumisen. Viljelykasvit pystyvät välttämään *Fusarium*-sienen aiheuttaman infektion alhaisessa lämpötilassa. Tällöin lämpötila inhiboi sienen itiötuotantoa, itiöiden itämistä ja infektiota. Puolustautuakseen monet isäntäkasvit tuottavat toksiineja, joilla ne estävät sienen tunkeutumisen kasviin. *Fusarium*-lajit inaktivoivat näitä toksisia aineita, mutta ne tuottavat myös omia toksiineja, jotka lisäävät *Fusarium*-sienten haitallisuutta. Nämä toksiinit ovat fytotoksiineja, kuten enniatiini ja fusaarihappo, eli ne ovat myrkyllisiä kasveille. Toksiinien avulla sieni inaktivoi ja tuhoaa kasvisolukkoa. Tällä tavoin se pystyy vaikuttamaan kasvin erilaisten signaalintegeenien toimintaan, kiinnittymään juuren pintaan, läpäisemään fysikaalisia esteitä ja puolustautumaan isännän erittämiä haitallisia yhdisteitä vastaan (Agrios 2005).

Fusarium-sienen aiheuttamat oireet vaihtelevat hieman isäntäkasvien välillä. Tyyppillisiä oireita ovat kuoliolaikut, joiden väri vaihtelee ruskeasta ja violetista mustaan (Kuva 3). Vioitukset ovat yleensä kasvin ulkopinnalla. Korret muuttuvat violeteiksi tai ruskeiksi heti kukinnon alapuolelta. Ajan kuluessa kukinto vaalenee ja lopulta tummuu. Kukinnon tuhoutuessa jyvät surkastuvat. Vihneistä tulee usein epämuodostuneita, vääristyneitä ja alaspäin kaartuvia (Goswami ja Kistler 2004). Pitkittyneen kostean jakson aikana sienen vaaleanpunaiset tai oranssit itiömassat

näkyvät infektoituneiden tähkylöiden ja jyvien pinnalla (Goswami ja Kistler 2004).



Kuva 3. *Fusarium*-sienten aiheuttamia oireita kauralla. Vasemmanpuoleisessa kuvassa *F. graminearum* -tartunta peltokokeessa vuonna 2007 (kuva: Päivi Parikka). Oikeanpuoleinen kuva vuoden 2012 peltokokeesta (kuva: Emmi Mykrä).

Fusarium-sienet, kuten *F. culmorum*, ovat merkittäviä siemenlevintäisiä taudinaiheuttajia. Erilaisissa itävyyskokeissa tutkijat ovat tutkineet kylvösiemenessä olevan *Fusarium*-tartunnan vaikutusta itävyyteen. Tutkimukset ovat osoittaneet, että sienitartunnan ja itävyyden välillä on selkeä yhteys. Sienet heikentävät jyvien itävyyttä, mikä vaikuttaa viljakasvuston tiheyteen ja satomäärään. Etenkin luomutuotannossa tämä voi aiheuttaa pahoja tuotannollisia ongelmia, sillä luonnonmukaisessa viljelyssä siementen käsittely esimerkiksi peittausaineilla ei ole mahdollista (Pinnschmidt ja Justesen 2005).

4.2 *Fusarium*-sienten tuottamat hometoksiinit

Fusarium-sienet tuottavat useita erilaisia hometoksiineja, joita kutsutaan mykotoksiineiksi. Näitä toksineja ovat muun muassa trikotekeenit, zearalenonit ja fumonisiinit. Trikotekeeneista yleisimpiä ovat deoksinivalenoli (DON), nivalenoli (NIV) sekä T-2- ja HT-2-toksiinit (Evira 2008).

Trikotekeeneihin kuuluva DON on ympäri maailmaa viljoilla yleisimmin esiintyvä toksini, ja sitä tuottavat erityisesti *F. graminearum* ja *F. culmorum*. *F. culmorum* on Suomessa yleisempi kuin *F. graminearum*, joka viihtyy lämpimämmissä olosuhteissa. Suomessa T-2- ja HT-2-toksiinien merkittävin tuottaja on *F. langsethiae*. Muita T-2- ja HT-2-tuottajia ovat esimerkiksi *F. acuminatum* Ell. & Kellrm., *F. poae* ja *F. sporotrichioides*. Zearalenonia tuottavat sienet, kuten *F. semitectum* Berk. & Ravenel, infektoivat kasvuston yleensä kukintakautena, mutta toksiinituotanto voi jatkua myös varastoinnin aikana. Nivalenolia tuottaa pääasiassa *F. poae*, mutta pieniä määriä myös *F. culmorum* (Evira 2008).

Suomessa mykotoksiinien määrät viljasadoissa ovat yleensä matalia, mutta joinakin vuosina on mitattu myös korkeita pitoisuuksia (Kokkonen ym. 2010). Ympäristöolosuhteiden, kuten lämpötilan ja pH:n, on todettu vaikuttavan sekä sienen kasvuun että sen tuottamien toksiinien määrään. Lämpimät ja hieman happamat olosuhteet edistävät sienen kasvua ja toksiinituotantoa (Doohan ym. 2003; Shwab ja Keller 2008). Pelto-olosuhteissa useat eri tekijät vaikuttavat sienen mykotoksiinituotantoon. Suurin vaikutus on havaittu olevan ilmastolla, viljelymenetelmillä ja isäntäkasvilla (Xu ym. 2007).

Parikka ym. (2008c) tutkivat muuttuneiden viljelytekniikoiden vaikutusta punahomeisiin. Suorakylvössä maahan jätettävä olkijäte edesauttaa taudinaiheuttajan säilymistä maaperässä etenkin sateisilla viljelyalueilla. Maanmuokkauksella ei kuitenkaan ollut suurta vaikutusta sadon DON-toksiinipitoisuuksiin, eikä suorakylvöstä näyttänyt olevan haittaa sadon laadulle (Parikka ym. 2008c). Sääolosuhteet vaikuttavat merkittävästi eri *Fusarium*-lajien esiintymiseen, joten suorakylvö on riski etenkin lämpiminä vuosina. Esimerkiksi *F. culmorum* ja *F. graminearum* viihtyvät korkeissa lämpötiloissa (Bottalico ja Perrone 2002). Lämpimän ja koste-

an ilmaston on havaittu nostavan merkittävästi sekä *Fusarium*-tartuntaa että toksiiniriskiä viljakasvustoissa (Parikka ym. 2008c). Kauraa on pidetty aiemmin erityisen alttiina *Fusarium*-tartunnoille, mutta uudemmat tutkimukset ovat osoittaneet ohran yhtä alttiiksi (Langseth ja Elen 1996). Viljalajikkeiden alttiudessa punahometartunnalle on myös eroja (Langseth ja Elen 1997; Jennings ja Turner 2000; Henriksen 1999). Myöhäisemmät lajikkeet ovat yleensä alttiimpia tartunnalle ja niiltä määritetään korkeita toksiinipitoisuuksia (Parikka ym. 2008c).

4.3 Hometoksiinien vaikutus sadon laatuun

Fusarium-sienten aiheuttamien kasvitautien määrän lisääntyminen lisää hometoksiinien esiintymisriskiä (Bottalico ja Perrone 2002). *Fusarium*-sieni aiheuttaa sato- ja laatumenetyksiä muun muassa steriloimalla kukintoja, muodostamalla värjäytymiä jyviin sekä kuihduttamalla ja keventämällä jyvien painoa. Nämä muutokset vaikeuttavat sadon markkinointia, vientiä ja infektoituneiden jyvien käsitteilyä (McMullen ym. 1997).

Vahvoilla mykotoksiineilla on haitallinen vaikutus ihmisten ja eläinten terveyteen (Schoustra ym. 2006; Zinedine ym. 2007). Infektoituneita jyviä ei voi käyttää ruokinnassa tai rehunvalmistuksessa, sillä ne voivat sisältää merkittäviä määriä eläimille vaarallisia trikotekeeneja, estrogeenisia mykotoksiineja tai zearalenoneita (McMullen ym. 1997). Karja voi altistua esimerkiksi rehussa ja oljissa oleville toksiineille (Bottalico ja Perrone 2002).

Eläimille toksiineista aiheutuu äkillisiä ja voimakkaita vaikutuksia, kuten syömisestä kieltäytyminen, ripuli ja oksentaminen. Ihmisellä oireina ovat yleensä pahoinvointi, oksentelu ja kouristukset. Neurologiset ja immunologiset häiriöt ovat pitkäaikaisen trikotekeeneille altistumisen vaikutuksia (Bennett ja Klich 2003). Ruokaturvallisuuteen ja kuluttajien suojeluun onkin kiinnitetty erityistä huomiota. Sen myötä viljoille ja niistä tehdyille tuotteille on laadittu tarkat säännökset, joiden mukaan *Fusarium*-toksiineille on vakiinnutettu tietyt pitoisuusrajat (FAO 2004) ja siedettävät päivittäiset enimmäissaantimäärät (Evira 2008).

EU:n Elintarvikealan tiedekomitean määrittelemät enimmäissaantimäärät kertovat toksiinimäärän, jonka kuluttaja voi ravinnostaan saada ilman terveydellisiä haittavaikutuksia. Suomalaisille naisille (keskipaino 70,8 kg) on määritetty DON-toksiinin siedettäväksi päivittäiseksi enimmäissaantimääräksi 70,8 µg ja T-2- ja HT-2-toksiinin 4,2 µg. Miehillä (keskipaino 85,3 kg) vastaavat saantimäärät ovat 85,3 µg DON-toksiinia ja 5,1 µg T-2- ja HT-2-toksiinia. DON-toksiinin siedettävä päivittäinen määrä on siis 1,0 µg ruumiinpainokiloa kohti ja T-2- ja HT-2-toksiineille yhteisesti 0,06 µg/painokilo. T-2- ja HT-2-toksiineille on määritetty yhteinen siedettävä päivittäinen enimmäissaantimäärä (Evira 2008). Elintarvikekäytössä kauran DON-toksiinin enimmäismäärä on 1750 µg/kg. Rehuviljan osalta T-2- ja HT-2-toksiinien enimmäismääristä on annettu suositusarvot (Vilja-alan yhteistyöryhmä 2012).

5 KAURAN KASVITAUTIEN HALLINTA

5.1 Viljelytekniikka

Kauran ennaltaehkäisevässä tautitorjunnassa viljelykierrolla (Jalli ja Parikka 2012) sekä hyväkuntoiseen kasvustoon panostamisella on merkittävä vaikutus (Vilja-alan yhteistyöryhmä 2012). Lajikevalinnalla pystytään vaikuttamaan sadon aikaisuuteen ja laonkestävyyteen (Vilja-alan yhteistyöryhmä 2012). Erilaiset lajikeominaisuudet vaikuttavat taudinkestävyyteen. Suorakylvö voi lisätä myös *Fusarium*-lajien esiintymistä kasvustossa ja näin lisätä korkeiden toksiinipitoisuuksien riskiä (Chambeil ym. 2004).

Kasvitautilien esiintymistä vähentää olkien poltto tai kerääminen (Jalli ja Parikka 2013). Esimerkiksi punahome leviää maassa kasvijätteissä (Vilja-alan yhteistyöryhmä 2012). Pellolle jätetty kasvikerros edesauttaa sienten kasvua hajottamalla hitaasti maaperää ja muuttamalla maan pintakerroksen pH:n happamaksi. Suurin osa *Fusarium*-sienistä viihtyy viljelymaan pintakerroksessa, jossa oleva kasvijäte tehostaa sienien kuromaitiöiden leviämistä tarjoamalla suotuisat olosuhteet itiökehitykselle (Maiorano ym. 2008).

Punahomeille suotuisia ovat alkukesän kuivat sääolosuhteet sekä loppukasvukauden kosteat ja sateiset säät. Kehittyvät jyvät saavat tartunnan jo kukinnan aikana, mutta tartunta voi tapahtua myös myöhemmin kasvukaudella jyvien ulkopinnoille. Parhaiten punahomeita voidaan torjua käyttämällä hyvälaatuista ja kunnostettua tai sertifioitua siementä. Viljelykierrossa tulee suosia ei-heinämaisten kasvien viljelyä. Viljan laonesto pitää kasvuston ilmavana ja ehkäisee voimakasta punahometartuntaa. Aikaisten lajikkeiden viljely vähentää kasvuston taudinaiheuttajalle altistumisaikaa. Viljan huolellinen kuivaus alle 14 %:iin pian puinnin jälkeen on myös tärkeä tekijä punahomeiden torjunnassa. Lajittelun avulla pystytään parantamaan viljasadon laatua. Lajittelussa sadosta poistetaan pienet ja surkastuneet jyvät, jotka ovat yleensä punahomeen tartuttamia ja sisältävät korkeita hometoksiinipitoisuuksia. Toksiinien määrään pystytään vaikuttamaan muun muassa kuorimalla sato (Vilja-alan yhteistyöryhmä 2012).

Bernhoft ym. (2010) mukaan *Fusarium*-sienten sekä niiden tuottamien mykotoksiinien määrä on vähäisempi luonnonmukaisessa kuin tavanomaisessa viljelyssä. Tähän on syynä todennäköisesti luomutuotannon tehokkaampi vuoroviljely ja maaperänhoito. Iso-Britanniassa tavanomaisesti viljellystä kaurasta on mitattu viisinkertainen määrä T-2- ja HT-2-toksiineja verrattuna luonnonmukaisesti viljeltyyn kauraan. Tämän oletetaan johtuvan siitä, että luomutuotanto ei ole niin painottunut viljanviljelyyn kuin tavanomainen tuotanto (Edwards 2009a, 2009b).

5.2 Kemiallinen torjunta

Tautitorjunnan perusta on terve kylvösiemen. Siementen peittauksella voidaan kuitenkin vähentää kauran siemenlevintäisiä tauteja, kuten punahomeita (Vilja-alan yhteistyöryhmä 2012). *Fusarium*-sienten torjunnasta kemiallisin keinoin on saatu vaihtelevia tuloksia (Parikka ym. 2012). Torjunta-aineiden on todettu tehoavan parhaiten myöhäisessä kukintavaiheeseen käsittelyssä (Vilja-alan yhteistyöryhmä 2012). Joidenkin kasvinsuojeluaineiden on todettu jopa huomattavasti lisäävän sienten aiheuttamia infektoita ja etenkin *F. culmorum* -sienen esiintymistä jyvissä (Henriksen ja Elen 2005).

Simpson ym. (2001) mukaan joidenkin torjunta-aineiden vähentäessä *Fusarium*-sieni-infektioiden ja mykotoksiinien määrää atsoksisitrobiini-yhdisteet puolestaan lisäävät *Fusarium*-sienten ja niiden tuottamien toksiinien määrää jyvissä. Yhtenä perusteena tälle voi olla mikrobien välisen kilpailun muuttuminen *Fusarium*-sienille otollisemmaksi. Torjunta-aineiden tehon on todettu riippuvan torjunnan ajankohdasta, käytetystä torjunta-aineesta ja taudinaiheuttajalajistosta viljan tähtäksässä (Pirgozliev ym. 2003). Tutkimukset ovat myös osoittaneet, että kemiallisella torjunnalla ei ole vaikutusta T-2- ja HT-2-toksiinituottajiin, kuten *F. langsethiae* -sieneen (Klemsdal ym. 2009; van der Fels-Klerx ja Stratakou 2010).

5.3 Taudinkestävyys

Kauran taudinkestävyysjalostuksessa pyritään kehittämään sellaisia lajikkeita, jotka selviytyvät parhaiten niissä olosuhteissa, joissa on läsnä kauraa infektoivia taudinaiheuttajia. Tällä tavoin pyritään minimoimaan satotappiot ja esimerkiksi *Fusarium*-sienten tuottamien mykotoksiinien aiheuttama sadon laadun aleneminen. Taudinkestävyysjalostuksessa määritetään kauran jalostuslinjojen resistenssitaso, johon perustuen valitaan parhaat yksilöt jatkojalostukseen (Tekauz ym. 2008).

Viljalajikkeiden taudinkestävyysjalostus *Fusarium*-sieniä vastaan on yksi tärkeimmistä keinoista punahomeiden hallinnassa (Liu ym. 1997). Eurooppalaisten kevätohralajikkeiden ja jalostuslinjojen taudinkestävyyseroista on saatu hyödyllistä materiaalia taudinkestävyysjalostusta varten (Buerstmayr ym. 2004). Kaupallisista kauralajikkeista ei ole onnistuttu löytämään juurikaan taudinkestävyttä *Fusarium*-sieniä vastaan. Joitakin resistenttejä genotyyppisiä on löydetty luonnonvaraisista *Avena*-lajeista (Bjørnstad ja Skinnes 2008; Tekauz ym. 2008). Norjassa kestävyysjalostus on kasvattanut huomattavasti merkitystään. Jalostuksella ei ole kuitenkaan saavutettu täydellistä resistenssiä. Lajikkeista ei ole löytynyt taudinkestävyysperintötekijää, joka tunnistaisi taudinaiheuttajan ja estäisi sekä patogeenin leviämisen että itiötuotannon kasvissa. Jalostusaineiston *Fusarium*-kestävyyden on todettu olevan kenttäkestävyyttä, joka on yleisempi taudinkestävyiden muoto (Bjørnstad ja Skinnes 2008). Kenttäkestävyydessä lajikkeessa on

useita taudinkestävyyssperintötekijöitä, jotka hidastavat huomattavasti taudinaiheuttajan itiötuotantoa ja leviämistä kasvilla (Liu ym. 1997).

Mesterhazy (1995) onnistui määrittämään löydetystä resistentistä vehnälajikkeista viisi erilaista resistenssityyppiä, joiden aktiivisten mekanismien avulla lajikkeet sietävät *Fusarium*-tartuntaa. Ensimmäisenä tyyppinä on kestävyys varhaisesta *Fusarium*-infektiota vastaan, toisena taudinaiheuttajan leviämisen estäminen tähkästä terveeseen solukkaan, kolmantena kestävyys jyväinfektiota vastaan, neljäntenä lajikkeen sietokyky eli infektiosta huolimatta kasvi pystyy tuottamaan suuren sadon ja viidentenä tyyppinä toksiinien hajottaminen (Mesterhazy 1995). Kaura pystyy hajottamaan *Fusarium*-sienten tuottamia toksiineja muita viljalajeja yleisemmin (Liu ym. 1997).

Viljojen kestävyyttä *Fusarium*-infektioita vastaan määritetään yleensä visuaalisesti infektoituneiden jyvien prosenttiosuuden ja satomäärän perusteella (Snijders 1990; Miedaner ym. 1993). Tämä on melko luotettava keino määrittää esimerkiksi vehnän *Fusarium*-resistenssiä, mutta kauralle tätä menetelmää ei voida käyttää. Syynä tähän on se, että kauralla *Fusarium*-infektio on usein oireeton (Liu ym. 1997). Visuaalisen havainnoinnin sijaan *Fusarium*-tartunnan määrittämisessä voidaan käyttää kemiallisia- ja pika-analyysejä sekä molekyylibiologisia tekniikoita. Kemiallisessa analyysissä mykotoksiinit analysoidaan kromatografisin menetelmin. Tätä kallista ja työlästä analyysiä käytetään kuitenkin harvoin. Pika-analyysit, kuten entsyymi-immunomääritys (ELISA) on edullisempi vaihtoehto. Tällä menetelmällä testataan muun muassa elintarviketeollisuudessa DON-toksiini-, fumosiini- ja tsearalenonipitoisuuksia (Yli-Mattila ym. 2008). Yli-Mattila ym. (2008) mukaan molekyylibiologisia analyysejä varten useille *Fusarium*-lajeille on kehitetty spesifiset DNA-alukkeet, joita käytetään ei-kvantitatiivisissa PCR (Polymerase Chain Reaction) -sovelluksissa. PCR-testejä kehitetään jatkuvasti ja niistä odotetaan olevan hyötyä kasvinjalostuksessa sekä elintarviketeollisuuden raaka-aineiden puhtauden testaamisessa (Yli-Mattila ym. 2008).

Tutkijoiden tekemät inokulointikokeet ovat osoittaneet, että kaura infektoituu suhteellisen vähän verrattuna ohraan ja vehnään. Syynä tähän on oletettu olevan kauran pitkät kukkaperät, jotka ovat erillään röyhyn tähkylästä ja estävät tällä tavoin taudinaiheuttajan kulkeutumisen terveisiin solukoihin. Morfologisen rakenteen vuoksi yksittäisten jyvien infektiot eivät ole kauralle niin tuhoisia kuin ohralle tai vehnälle, joilla tiivis tähkä helpottaa taudinaiheuttajan leviämistä terveisiin solukoihin (Bjørnstad ja Skinnes 2008). Tutkimukset ovat osoittaneet myös, että infektoitumisherkyys on vähäisempi aikaisilla (Parikka ym. 2008a; Gavrilova ym. 2008) ja kuorettomilla lajikkeilla (Gavrilova ym. 2008).

6 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Tämä tutkimus toteutettiin osana Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen erikoistutkija Marja Jallin ja vanhempi tutkija Päivi Parikan Hyötygeeni-hanketta. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kahdeksan kauralajikkeen taudinkestävyys *F. culmorum*- ja *F. langsethiae* -sieniä vastaan.

Tarkoituksena oli myös tutkia, onko lajikkeen taudinkestävyys samanlainen sekä *F. culmorum*- että *F. langsethiae* -sientä vastaan. *Fusarium*-sienillä tartutettujen lajikkeiden kestävyysmittareina käytettiin sadon infektoituneiden jyvien ja mykotoksiinien määrää sekä jyvien itävyyttä.

7 AINEISTO JA MENETELMÄT

7.1 Kasvimateriaali

Kasvihuonekokeeseen valittiin kahdeksan kauragenotyyppiä: Odal, Hurdal, Ringsaker, Haga, Bessin, Belinda, Neklan ja Typhon. Lajikkeiden alkuperät vaihtelivat. Neljä niistä oli norjalaisia (Taulukko 1). Valintaperusteena käytettiin taudinkestävyyttä *Fusarium graminearum* -sientä vastaan, joka on selvitetty aiemmissa tutkimuksissa (Bjørnstad ja Skinnes 2008).

Taulukko 1. Kasvihuonekokeen kauralajikkeet ja niiden alkuperä.

Kauralajike	Jalostaja	Maa	Rekisteröintivuosi
Belinda*	Svalöf Weibull	Ruotsi	1999
Bessin*	NordSaatSaatzucht	Saksa	2005
Haga*	Graminor	Norja	2010
Hurdal	Graminor	Norja	2005
Neklan	Selgen	Tsekin tasavalta	1998
Odal	Graminor	Norja	2009
Ringsaker*	Graminor	Norja	2008
Typhon	NordSaatSaatenUnion	Saksa	2005

*Lajikelistalla Suomessa (Evira, Kasvinjalostajanoikeus 2012, Suomen kasvilajiketiedote)

7.2 Tartukemateriaali

Tartukemateriaalina käytetty *F. culmorum* -isolaatti (05018) oli eristetty vuonna 2005 Jokioisten koekentältä Roope-kaurasta ja *F. langsethiae* -isolaatti (05010) Aslak-kaurasta Tammelasta Boreal Kasvinjalostus Oy:n Mustialan kokeesta. Sieniviljelmät tehtiin 1-rihmaviljelminä, eli ne aloitettiin yhdestä sienirihmasta. Viljelmiä säilytettiin nestetyyppipakastimessa -172,7 °C:een lämpötilassa.

Kuukautta ennen tartutusta molempia isolaatteja lisättiin viisi PDA-maljallista jokaista lajiketta kohti. Isolaatteja kasvatettiin sienikasvatushuoneessa +18-20 °C:een lämpötilassa pimeässä. *F. culmorum* -maljoja pidettiin huoneessa viikon

ajan ja *F. langsethiae* -maljoja 12 päivää, koska sieni oli hidaskasvuisempi kuin *F. culmorum*. Kun kasvusto peitti maljat, ne siirrettiin kylmiöön +6-8 °C:een lämpötilaan odottamaan tartukkeen valmistusta.

7.3 Koemalli

Kauragenotyypit sijoitettiin kahteen eri kasvihuoneeseen. Molempiin huoneisiin kylvettiin samat kahdeksan genotyyppiä. Toisen huoneen lajikkeet inokuloitiin *Fusarium langsethiae* -sienellä ja toisen *Fusarium culmorum* -sienellä. Molemmat käsittelyt toteutettiin täydellisenä lohkoittain satunnaistettuna kokeena. Yhdessä kerranteessa oli jokaista lajiketta kohti yksi ruukku, jossa oli 20 kasvia. Kokeessa oli viisi kerrannetta. Kokeessa ei käytetty terveitä kasveja puhtaina kontrolleina, koska oletuksena oli, että käytetty kylvösiemen on tervettä.

7.4 Kasvihuonekoe

7.4.1 Kylvö

Kasvualustana käytettiin Kekkilän AO-turvetta. Kylvöä varten kasvualusta valmistettiin sekoittamalla 100 l turvetta ja 1000 g hiekkapuhallushiekkaa. Seokseen lisättiin 900 g Nordkalkin Puutarhurin hienokalkkia (dolomiittikalkki), 100 g Hienokalkkia (Nordkalk), 120 g Yaran Turpeen Y-lannosta (NPK 11-11-20) ja 30 g Yaran Superfosfaattia (fosforia 9 %). Kasvualusta sekoitettiin betonimyllyssä.

Kokeessa käytettiin 3,5 litran ruukkuja. Ruukut täytettiin kasvualustalla ja kasteltiin kevyesti. Vuorokauden kuluttua jokaiseen ruukkuun kylvettiin 20 siementä. Siemenet oli peitattu Täyssato S:llä (edustajana Suomessa Yara Suomi Oy), jonka tehoaineina olivat karboksiini 750 g/kg ja imatsaliini 25 g/kg. Peittausainetta käytettiin 200 g/100 kg:a siemeniä. Kasvit tuettiin kepeillä ja kalastajalangalla. Ruukkuja kasteltiin säännöllisesti. Kastelua vähennettiin, kun satonäytteidenottoon oli kaksi viikkoa aikaa. Kastelu lopetettiin kokonaan viikkoa ennen näytteenottoa. Kasveja lannoitettiin kerran viikossa Yaran Puutarhan täyslannoksella (NPK 14-11-25). Lannoituksen lisäksi jokaiseen ruukkuun lisättiin korrenkasvuvaiheessa 150 ml veteen sekoitettua 10 %:sta mangaanikelaattia (1 g/1 l vettä).

Kasvihuoneessa valojakso ajoittui klo 6-22 väliselle ajalle. Aluksi lämpötila huoneissa oli yöllä +15 °C ja päivällä +17 °C. Ensimmäisen kerran lämpötilaa nostettiin kahden ja puolen kuukauden jälkeen kylvöstä, jolloin se oli yöllä +18 °C ja päivällä +20 °C. Lämpötilaa nostettiin toisen kerran, kun ensimmäisestä lämpötilan nostosta oli kulunut kaksi viikkoa. Tällöin huoneiden lämpötila oli yöllä +18 °C ja päivällä +23 °C. Kaikkiin lämpötiloihin on huomioitu +2 °C:een tuuletuslisä. Tuuletuslisällä tarkoitetaan 2 °C:een marginaalin salliminen asetettuihin päivä- ja yölämpötiloihin. Tällä pyritään estämään kasvihuonetekniikan automaattiset hälytykset, kun lämpötila tuuletuksen vuoksi hieman laskee.

7.4.2 Tartutus

Tartuke valmistettiin juuri ennen tartutusta. Jokaiselle lajikkeelle tartuke valmistettiin viidestä *F. culmorum*- tai *F. langsethiae* -maljasta. Kasvuston tartutus tehtiin, kun röyhy oli kokonaan ulkona, eli kasvuaste oli 58 (Zadoks ym. 1974, Liite 1). Tartutuksen ajankohta vaihteli kauralajikkeittain, koska röyhylle tuleminen ei tapahtunut kaikilla lajikkeilla samaan aikaan. Tämän takia tartutuksia tehtiin kolmena päivänä.

Tartukkeen valmistamiseksi jokaiselle sienimaljalle lisättiin 20 ml tislattua vettä. Sienirihmasto raaputettiin peitinlasin avulla maljalta dekantterilasiin ja 1 ml kertakäyttöistä pipettiä käyttäen malja huuhdeltiin vielä tislattulla vedellä. Saatu itiösuspensio sekoitettiin tehosekoittimella varoen itiöiden rikkoutumista. Tehosekoitin steriloidtiin etanolilla ja vedellä ennen käyttöä sekä tartukkeiden välillä. Suspensioon lisättiin tislattua vettä, jotta kokonaismääräksi saatiin 200 ml. Tämä oli yhden lajikkeen tartutukseen käytetty määrä.

Suspension itiömäärä tarkistettiin, jotta se oli riittävä tartutukseen. Itiöiden laskentaan käytettiin Fuchs-Rosenthal-laskentakammiota, jossa on 16x16 pikkuruutua. Yhden ruudun tilavuus on 0,0000125 ml. Itiöiden lukumäärä laskettiin 4x4 ruudukolta, jonka jälkeen laskentakaavan avulla määritettiin suspension itiöpitoisuus.

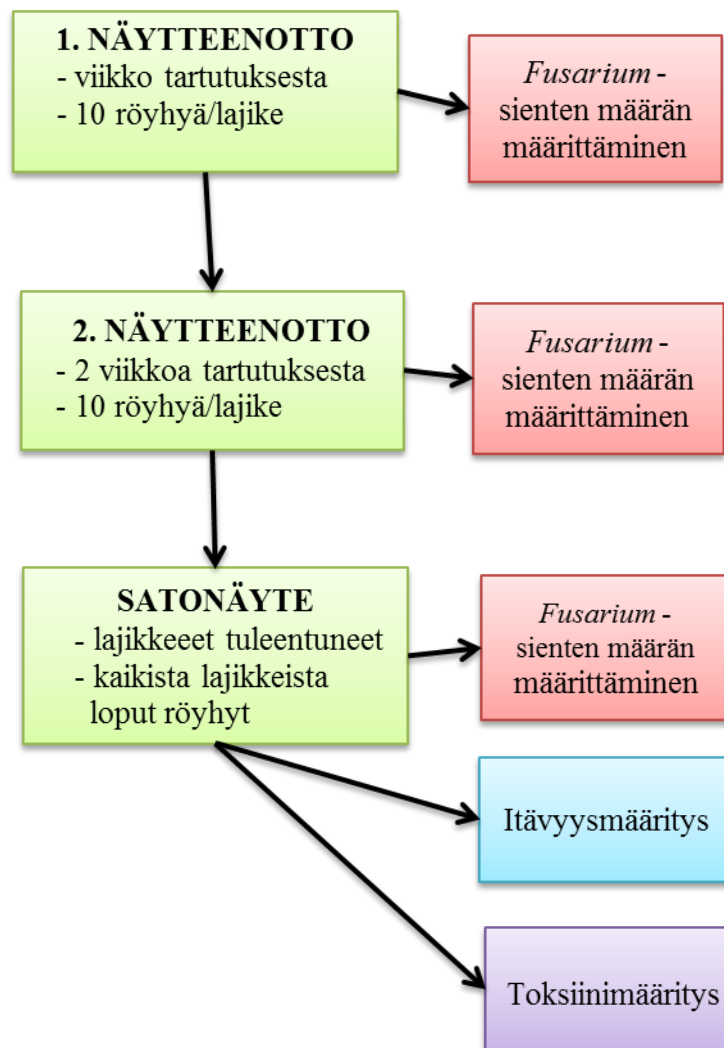
$$\frac{\text{itiömäärä/pieniruutu} \times 16}{0,0002} = \text{itiöitä/1ml}$$

Itiöiden lukumäärä laskettiin viideltä ruudulta ja niiden keskiarvoa käytettiin laskentakaavassa. *F. langsethiae* -sienen itiöitä oli pienellä ruudulla noin 15 kappaletta ja *F. culmorum* -sienen itiöitä noin 6-7 kappaletta. *F. langsethiae* -tartukkeen itiöpitoisuus oli 1,2 miljoonaa itiötä/ml ja *F. culmorum* -tartukkeen 520 000 itiötä/ml.

Kaksi tuntia ennen tartutusta huoneesta sammutettiin valot ja lajikkeet sumutettiin vedellä. Tartutuksen ajaksi huoneesta laitettiin myös tuuletus pois päältä. Tartuke sumutettiin paineen avulla toimivalla käsisumuttimella ylhäältä päin suoraan latvustoon. Tartutuksen jälkeen tuuletus pidettiin vielä noin 10 minuuttia pois päältä, minkä jälkeen se kytkettiin takaisin. Kun tartutuksesta oli kulunut 45 minuuttia, laitettiin kasvihuoneen sumutus kuudeksi tunniksi päälle kosteuden lisäämiseksi. Vuorokauden kuluttua huoneeseen laitettiin valot päälle.

7.4.3 Näytteenotto

Näytteitä otettiin kolme kertaa sekä *F.culmorum*- että *F. langsethiae* -sienillä tartutetuista lajikkeista (Kuva 4). Ensimmäiset näytteet otettiin viikon kuluttua tartutuksesta, kun kauran kasvuaste oli noin 60 (Zadoks ym. 1974, Liite 1). Näytteenotto tapahtui ruukuittain. Jokaisesta ruukusta otettiin kaksi röyhyä eli kaikkiaan kymmenen röyhyä yhdestä lajikkeesta. Toiset näytteet otettiin kahden viikon kuluttua tartutuksesta, kun kauran kasvuaste oli noin 64 (Zadoks ym. 1974, Liite 1). Myös toisessa näytteenotossa jokaisesta ruukusta otettiin kaksi röyhyä.



Kuva 4. *F. culmorum*- ja *F. langsethiae* -sienellä tartutettujen lajikkeiden näytteenotot ja -määrät sekä näyteanalyysit.

Satonäytteet otettiin, kun kaikki koejäsenet olivat tuleentuneet. Kasvuaste oli silloin noin 92 (Zadoks ym. 1974, Liite 1). Näytteenotossa jokaisesta koejäsenestä otettiin talteen kaikki jäljellä olevat röyhyt ruukuittain. Röyhyistä irrotettiin kaikki jyvät ja jyivistä poistettiin akanat metallisen siivilän avulla. Tämän jälkeen kaikkien koejäsenten jyvät punnittiin ruukuittain ja pussitettiin.

7.5 *Fusarium*-sienten määrä kauralajikkeissa

Fusarium-sienten määrän selvittämiseksi eri kauranäytteissä näytteet maljattiin pentakloronitrobentseenimaljoille (PCNB valmistusohje, Liite 2), jotka on kehitetty valikoiviksi *Fusarium*-sienille. Muiden mikrobien kasvua maljoilla rajoitetaan fungisideilla ja antibiooteilla. Ensimmäisellä ja toisella näytteenottokerralla jokaisesta kerätystä röyhystä otettiin ala- sekä yläosasta neljä jyvää, jotka maljattiin erikseen. Yhdelle maljalle maljattiin kymmenen jyvää, joista oli poistettu akanat. Maljauksessa apuna käytetyt pinsetit steriloitiin etanolilla. Jokaista koejäsentä kohti oli yhteensä neljä maljaa sekä röyhyn ala- että yläosasta otetuista jyvistä. Maljaan merkittiin koejäsenen nimi, kummasta osasta röyhyä jyvät olivat sekä päivämäärä. Satonäytteiden *Fusarium*-määrän selvittämiseksi jokaisesta ruukusta maljattiin 40 jyvää PCNB-maljoille eli jokaista koejäsentä kohti oli 20 maljaa.

PCNB-maljoja inkuboitiin +23 °C:ssa, kunnes jyvien ympärille oli kasvanut selkeä sienirihmasto. Tämän jälkeen kasvustosta tehtiin siirrostukset perunadekstroosiagarille (PDA valmistusohje, Liite 2). PDA on ravinteikas kasvualusta sekä sienille että muille mikrobeille. PCNB-maljoilta tehtiin kaikista jyvien ympärille kasvaneista rihmastoista siirrostus PDA-maljoille käyttäen siirrostuspiikkiä. Siirrostuspiikit puhdistettiin siirrostusten välillä etanolilla ja sterilisaattorilla. Yhdelle PDA-maljalle tehtiin viisi siirrostusta. PDA-maljoja inkuboitiin sienikasvatushuoneessa +18–20 °C:een lämpötilassa pimeässä, kunnes kasvusto oli runsasta. Tämän jälkeen maljoilta tehtiin sienten määrittäminen visuaalisesti ja mikroskoopin avulla rihmaston kasvutyyppiin, väriin ja itiöiden muotoon perustuen. Määrittämisessä pyrittiin tunnistamaan kaikki jyvissä esiintyneet *Fusarium*-lajit. Tartuntaprosenttisuudet laskettiin kuitenkin vain *F. culmorum*- ja *F. langsethiae* -sienten infektoimista jyvistä.

7.6 Toksiinimääritykset

Jyvien toksiinimääritys tehtiin kaasukromatografilla satonäytteestä MTT:n keskuslaboratoriossa (Hietaniemi ym. 2004). Jokaisesta lajikkeesta punnittiin jyviä määrittäystä varten noin 30 g, eli noin 6 g jokaisesta ruukusta. Tällöin näyte edusti

kattavasti lajiketta. Näytteet jauhettiin viljamyyllyllä (Kuva 5) 2 mm seulan läpi, jolloin jokaista näytettä oli jauhettuna noin 20 g. Näytteiden välillä seula ja mylly puhdistettiin paineilman avulla sekä etanolilla. Jokaista näytettä kohti käytettiin 80 ml uuttoliuosta. Näytteistä tehtiin kaasukromatografilla DON-, DAS-, 3-AcDON-, F-X-, NIV-, T-2-, HT-2- ja 15-AcDON-toksiinimääritykset.



Kuva 5. Jyvien jauhamiseen käytetty viljamyylly (kuva: Emmi Mykrä).

7.7 Itävyysmääritykset

Jyvien itävyysmääritys tehtiin satonäytteestä virallisen ohjeen mukaisesti idätyspaperilla (Peltokasvien sadonlaatu, Liite 3). Määritystä varten jokaisesta lajikkeesta yhdistettiin viiden ruukun sato. Yhdistetystä näytteestä tehtiin itävyysmääritys kahtena kerranteena. Yhdessä kerranteessa testattiin idätyspaperilla 100 jyvän itävyys. Itävyyspaperikääröjä säilytettiin viikon ajan +10 °C:ssa, jonka jälkeen ne olivat kolme vuorokautta huoneenlämmössä ennen itävyyslaskentaa. Sadon itävyys määritettiin laskemalla normaalisti itäneiden jyvien lukumäärä. Siemen on normaalisti itänyt, kun siinä on vähintään kaksi tervettä juurta ja noin 1 cm pituinen itutuppi.

7.8 Tilastolliset analyysit

Tutkimuksen tilastoanalyysijä laadittaessa käytettiin logistiseen regressioon perustuvaa menetelmää (Allison 1999). Sen avulla tutkittiin lajikkeiden vaikutuksen tilastollista merkitsevyyttä sekä *F. culmorum*- että *F. langsethiae* -sienen esiintymisfrekvenssiin, niillä tartutettujen jyvien tuottamassa sadossa. Tämä menetelmä on kehitetty aineistoille, joissa esiintymisfrekvenssi noudattaa binomijakaumaa. Tässä tutkimuksessa tämä tarkoittaa sitä, että tutkitussa jyvässä joko esiintyy sieni (1) tai ei esiinny (0). Jokaisen lajikkeen kohdalla arvosteltiin erikseen viiden ruukun sato, joista maljattiin 40 jyvää/ruukku. Tästä muodostuu tutkittujen jyvien määrä $N=200$.

Tutkimuksen logistisen regression tunnuslukujen laskemiseen käytettiin Proc Genmod proseduuria (SAS Institute Inc. 1999). Lajikkeen ja kerranteen (viisi toisto) vaikutus sisällytettiin testattuun malliin. Kaikkien lajikkeiden *F. culmorum*- ja *F. langsethiae* -lajien esiintymisfrekvenssiä jyväsadossa verrattiin niiden esiintymisfrekvenssiin Belinda-lajikkeessa. Tässä lajikkeessa havaittiin suurin *F. culmorum*- ja *F. langsethiae* -sienten määrä, jonka vuoksi Belinda valittiin vertailukohteeksi.

Sienten esiintymisfrekvenssiä kerranteissa 1-4 verrattiin niiden esiintymisfrekvenssiin kerranteessa 5. Ohjelma laskee frekvenssien eroille Waldin χ^2 -arvon. Tilastollisen merkitsevyyden todennäköisyydelle ohjelma määrittelee p-arvon eron. Eroa pidettiin tilastollisesti merkitsevä, jos p-arvo oli pienempi kuin 0,05 eli tällöin ero on 95 % varmuudella tilastollisesti merkitsevä. Siementen itävyyksien erot määritettiin samalla menetelmällä, mutta sienten esiintymisfrekvenssien sijasta käytettiin itäneiden siementen esiintymisfrekvenssejä.

Sienten vaikutusta lajikkeiden jyväsatoon tarkasteltiin Proc GLM-proseduurilla varianssianalyysiin perustuvalla osaruutumallilla. Keskiarvojen tilastolliset erot testattiin Tukey'n HSD-testillä.

Kuvien ja taulukoiden luomiseen käytettiin Microsoft Office 2007 Excel-tilukkolaskentaohjelmaa. Keskiarvot laskettiin Excel-ohjelman Pivot-tilukolla.

8 TULOKSET

8.1 *Fusarium*-sienten määrä kauralajikkeissa

8.1.1 *Fusarium*-sienten määrä lajikkeissa ensimmäisellä ja toisella näytteenottokerralla

Ensimmäisen ja toisen näytteenoton maljauksien tartuntaprosentit laskettiin kaikilla lajikkeilla viidestä ruukusta. Jyvistä löytyi myös muita sieniä, mutta tartuntaprosenttiin huomioitiin vain jyvien *F. culmorum*- tai *F. langsethiae* -tartunta. Tartuntaprosentti saatiin laskemalla yhteen jokaisesta lajikkeesta röyhyn ylä- ja alaosasta maljatuista jyvistä sienitartunnan saaneiden jyvien osuus.

Ensimmäisen ja toisen näytteenoton maljausten tartuntaprosentit erosivat toisistaan. Suurimmalla osalla *F. langsethiae* -sienellä tartutetuista lajikkeista tartuntaprosentti oli isompi ensimmäisessä kuin toisessa maljauksessa. Poikkeuksena olivat Typhon, Belinda ja Ringsaker, joilla kaikilla tartuntaprosentti oli suurempi toisessa kuin ensimmäisessä maljauksessa. *F. culmorum* -sienellä tartutetuista lajikkeista Neklanilla, Typhonilla, Hagalla ja Belindalla tartuntaprosentti oli suurempi ensimmäisessä kuin toisessa maljauksessa.

Kaikkiaan *F. culmorum* -sienellä tartutettujen lajikkeiden tartuntaprosentit olivat keskimäärin suurempia kuin *F. langsethiae* -tartutuksen saaneiden. Ainoastaan Ringsaker-lajikkeella *F. langsethiae* aiheutti voimakkaamman tartunnan kuin *F. culmorum*.

F. culmorum- ja *F. langsethiae* -sienellä tartutettujen lajikkeiden tartunnan saaneiden jyvien lukumäärien vaihteluvälit ja keskiarvot olivat erilaiset ensimmäisessä ja toisessa näytteenotossa (Taulukko 2). Vaihteluväli muodostuu lajikekohtaisesti pienimmästä ja suurimmasta tartunnan saaneiden jyvien lukumäärästä. *F. culmorum* -sienellä tartutetuista lajikkeista suurin vaihteluväli ensimmäisessä näytteenotossa oli Hagalla [12-31] ja pienin Odalilla [37-37]. Tartunnan saaneiden jyvien lukumäärän keskiarvo oli suurin Belindalla (38,0) ja pienin Ringsakerilla (20,5). Toisessa näytteenotossa suurin vaihteluväli oli Neklanilla [3-24] ja pienin

jälleen Odalilla [39-40]. Tartunnan saaneiden jyvien lukumäärän keskiarvo oli suurin Odalilla (39,5) ja pienin Neklanilla (13,5).

F. langsethiae -sienellä tartutetuista lajikkeista suurin vaihteluväli ensimmäisessä näytteenotossa oli Neklanilla [9-28] ja pienin Hurdalilla [18-19]. Tartunnan saaneiden jyvien lukumäärän keskiarvo oli suurin Ringsakerilla (27,5) ja pienin Belindalla (12,5). Toisessa näytteenotossa suurin vaihteluväli oli Neklanilla [4-29] ja pienin Hagalla [14-16]. Suurin keskiarvo oli Ringsakerilla (28,0) ja pienin Bessinillä (14,5).

Taulukko 2. *F. culmorum*- ja *F. langsethiae* -sienellä tartutettujen lajikkeiden tartunnan saaneiden jyvien lukumäärien (kpl) keskiarvot ja vaihteluvälit (tartunnan saaneiden jyvien lukumäärän pienin ja suurin arvo) ensimmäisessä ja toisessa näytteenotossa. Vaihteluvälillä ja keskiarvoja laskettaessa tarkasteltiin yhteensä 80 jyvää/näytteenotto.

Lajike	<i>F.culmorum</i>				<i>F. langsethiae</i>			
	1. näyte		2. näyte		1. näyte		2. näyte	
	keskiarvo	vaihteluväli	keskiarvo	vaihteluväli	keskiarvo	vaihteluväli	keskiarvo	vaihteluväli
Belinda	38,0	36-40	37,0	35-39	12,5	5-20	16,0	8-24
Bessin	34,0	33-35	38,0	37-39	18,0	16-20	14,5	11-18
Haga	21,5	12-31	20,5	12-29	16,0	10-22	15,0	14-16
Hurdal	28,5	22-35	35,0	30-40	18,5	18-19	16,0	14-18
Neklan	21,0	12-30	13,5	3-24	18,5	9-28	16,5	4-29
Odal	37,0	37-37	39,5	39-40	26,5	20-33	18,5	12-25
Ringsaker	20,5	14-27	20,5	15-26	27,5	22-33	28,0	22-34
Typhon	32,0	27-37	26,5	17-36	19,0	18-20	21,5	15-28

8.1.2 *Fusarium*-sienten määrä röyhyn ylä- ja alaosissa

Tartunnan saaneiden jyvien osuus röyhyn yläosissa oli huomattavasti suurempi kuin alaosissa sekä *F. culmorum*- että *F. langsethiae* -sienellä tartutetuilla lajikkeilla. Erot olivat kuitenkin isommat *F. culmorum*- ($p < 0,001$) kuin *F. langsethiae* -sienellä ($p < 0,001$) tartutetuissa lajikkeissa. Lajikkeiden tartunnan saaneiden jyvien lukumäärien vaihteluväleissä ja niiden keskiarvoissa oli myös eroja (Taulukko 3).

Suurin tartunnan saaneiden jyvien lukumäärän vaihteluväli röyhyn yläosissa *F. culmorum* -sienellä tartutetuissa lajikkeissa oli Neklanilla [24-30] ja pienin Typhonilla [36-37] sekä Ringsakerilla [26-27]. Tartunnan saaneiden jyvien lukumäärän keskiarvo oli suurin Belindalla (39,5) ja pienin Ringsakerilla (26,5). Röyhyn alaosissa suurin vaihteluväli oli Typhonilla [17-27] ja pienin Hagalla [12-12]. Suurin keskiarvo oli Odalilla (38,0) ja pienin Neklanilla (7,5).

F. langsethiae -sienellä tartutetuista lajikkeista röyhyn yläosissa suurin vaihteluväli oli Typhonilla [18-28] ja pienimmät vaihteluvälit Ringsakerilla [33-34], Neklanilla [28-29] sekä Hurdalilla [18-19]. Tartunnan saaneiden jyvien lukumäärän keskiarvo oli suurin Ringsakerilla (33,5) ja pienin Hurdalilla (18,5). Röyhyn alaosissa vaihteluväli oli suurin Odalilla [12-20] ja pienin Ringsakerilla [22-22]. Suurin keskiarvo oli Ringsakerilla (22,0) ja pienin Neklanilla (6,5) sekä Belindalla (6,5).

Taulukko 3. *F. culmorum*- ja *F. langsethiae* -sienellä tartutettujen lajikkeiden tartunnan saaneiden jyvien lukumäärien (kpl) keskiarvot ja vaihteluvälit (tartunnan saaneiden jyvien pienin ja suurin arvo) röyhyn ylä- ja alaosissa. Vaihteluvälejä ja keskiarvoja laskettaessa tarkasteltiin 40 jyvää/röyhyn yläosa ja 40 jyvää/röyhyn alaosa.

Lajike	<i>F. culmorum</i>				<i>F. langsethiae</i>			
	röyhyn yläosa		röyhyn alaosa		röyhyn yläosa		röyhyn alaosa	
	keskiarvo	vaihteluväli	keskiarvo	vaihteluväli	keskiarvo	vaihteluväli	keskiarvo	vaihteluväli
Belinda	39,5	39-40	35,5	35-36	22,0	20-24	6,5	5-8
Bessin	37,0	35-39	35,0	33-37	19,0	18-20	13,5	11-16
Haga	30,0	29-31	12,0	12-12	19,0	16-22	12,0	10-14
Hurdal	37,5	35-40	26,0	22-30	18,5	18-19	16,0	14-18
Neklan	27,0	24-30	7,5	3-12	28,5	28-29	6,5	4-9
Odal	38,5	37-40	38,0	37-39	29,0	25-33	16,0	12-20
Ringsaker	26,5	26-27	14,5	14-15	33,5	33-34	22,0	22-22
Typhon	36,5	36-37	22,0	17-27	23,0	18-28	17,5	15-20

8.1.3 *Fusarium*-sienten määrä satonäytteissä

Satonäytteiden tartuntaprosentit, jotka laskettiin 200 siemenestä, olivat kauralajikkeilla selkeästi suuremmat *F. culmorum*- kuin *F. langsethiae* -sienellä tartutetuissa kasveissa. Tartunnan saaneiden jyvien osuus vaihteli ruukuittain.

F. culmorum -sienellä tartutetuista lajikkeista Hurdalilla oli korkein tartuntaprosentti sadossa ja Neklanilla pienin (Taulukko 4). Tilastollisesti merkitsevästi Belindaa alhaisemmat tartuntaprosentit olivat Neklanilla ($p < 0,001$), Ringsakerilla ($p < 0,001$), Hagalla ($p < 0,001$), Bessinillä ($p < 0,001$) sekä Typhonilla ($p = 0,0236$).

Taulukko 4. *F. culmorum* -sienellä tartutettujen lajikkeiden satonäytteiden tartuntaprosentit (%) sekä lajikkeen ja Belindan välisen tartuntaeron tilastollinen merkitsevyys.

Lajike	Tartuke	Tartuntaprosentti (%)	p-arvo*
Belinda	<i>F. culmorum</i>	89,0	verranne
Bessin	<i>F. culmorum</i>	70,5	$< 0,001$
Haga	<i>F. culmorum</i>	57,0	$< 0,001$
Hurdal	<i>F. culmorum</i>	94,0	0,0732
Neklan	<i>F. culmorum</i>	29,5	$< 0,001$
Odal	<i>F. culmorum</i>	89,5	0,8697
Ringsaker	<i>F. culmorum</i>	56,5	$< 0,001$
Typhon	<i>F. culmorum</i>	81,0	0,0236

* $P < 0,05$

F. langsethiae -sienellä tartutetuista lajikkeista Belindalla oli puolestaan korkein tartuntaprosentti satonäytteessä, ja Neklanilla jälleen pienin (Taulukko 5). Tilastollisesti merkitsevästi Belindaa alhaisemmat tartuntaprosentit olivat Neklanilla ($p = 0,0002$), Hagalla ($p = 0,0027$) ja Bessinillä ($p = 0,0232$).

Taulukko 5. *F. langsethiae* -sienellä tartutettujen lajikkeiden satonäytteiden tartuntaprosentit (%) sekä lajikkeen ja Belindan välisen tartuntaeron tilastollinen merkitsevyys.

Lajike	Tartuke	Tartuntapro-sentti (%)	p-arvo*
Belinda	<i>F. langsethiae</i>	21,0	verranne
Bessin	<i>F. langsethiae</i>	12,5	0,0232
Haga	<i>F. langsethiae</i>	10,0	0,0027
Hurdal	<i>F. langsethiae</i>	14,5	0,0882
Neklan	<i>F. langsethiae</i>	7,5	0,0002
Odal	<i>F. langsethiae</i>	15,0	0,1172
Ringsaker	<i>F. langsethiae</i>	16,0	0,1958
Typhon	<i>F. langsethiae</i>	15,5	0,1529

* $P < 0,05$

F. langsethiae -sienellä tartutetuista lajikkeista löytyi tartukkeena käytetyn sienen lisäksi huomattava määrä DON-toksiinia tuottavia sieniä (lähinnä *F. culmorum* ja *F. graminearum*). DON-tuottajia oli eniten Bessin- (68,2 %) ja Haga (67,2 %) -lajikkeista. Vähiten näitä sieniä määritettiin Hurdalista (29,2 %) ja Typhonista (38,9 %). Muissa lajikkeissa DON-tuottajia esiintyi seuraavasti: Belinda 40,8 %, Neklan 52,8 %, Odal 39,2 % ja Ringsaker 44,8 %.

Yksittäisen tartukkeen vaikutuksen lisäksi tutkittiin myös molempien tartukkeiden aiheuttamaa samaan lajikkeeseen kohdistuvaa yhdysvaikutusta satonäytteistä (Taulukko 6). Tarkoituksena oli havainnoida, vaikuttavatko *F. culmorum* ja *F. langsethiae* lajikkeisiin samalla tavalla. Verrattaessa muita lajikkeita Belindan kestävyys kahta eri sientä vastaan, merkitsevimmät erot olivat Hagalla ($p=0,0182$), Hurdalilla ($p=0,0155$), Neklanilla ($p<0,001$) ja Ringsakerilla ($p<0,001$). Tilastollisen merkitsevyyden perusteella näillä lajikkeilla *F. culmorum*- ja *F. langsethiae* -kestävyyden yhdysvaikutus on erilainen kuin Belindalla. Bessin-, Odal- ja Typhon-lajikkeilla *F. culmorum*- ja *F. langsethiae* -kestävyyden yhdysvaikutus on samankaltainen kuin Belindalla.

Taulukko 6. *F. culmorum*- ja *F. langsethiae* -sienten lajikkeisiin kohdistaman yhdysvaikutusten samankaltaisuus verrattuna yhdysvaikutukseen Belinda-lajikkeella.

Lajike	Tartuke	p-arvo*
Belinda	<i>F. culmorum</i> / <i>F. langsethiae</i>	verranne
Bessin	<i>F. culmorum</i> / <i>F. langsethiae</i>	0,1235
Haga	<i>F. culmorum</i> / <i>F. langsethiae</i>	0,0182
Hurdal	<i>F. culmorum</i> / <i>F. langsethiae</i>	0,0155
Neklan	<i>F. culmorum</i> / <i>F. langsethiae</i>	<0,001
Odal	<i>F. culmorum</i> / <i>F. langsethiae</i>	0,2678
Ringsaker	<i>F. culmorum</i> / <i>F. langsethiae</i>	<0,001
Typhon	<i>F. culmorum</i> / <i>F. langsethiae</i>	0,4888

* $P < 0,05$

8.2 *Fusarium*-tartunnan vaikutus lajikkeiden jyväsadon määrään

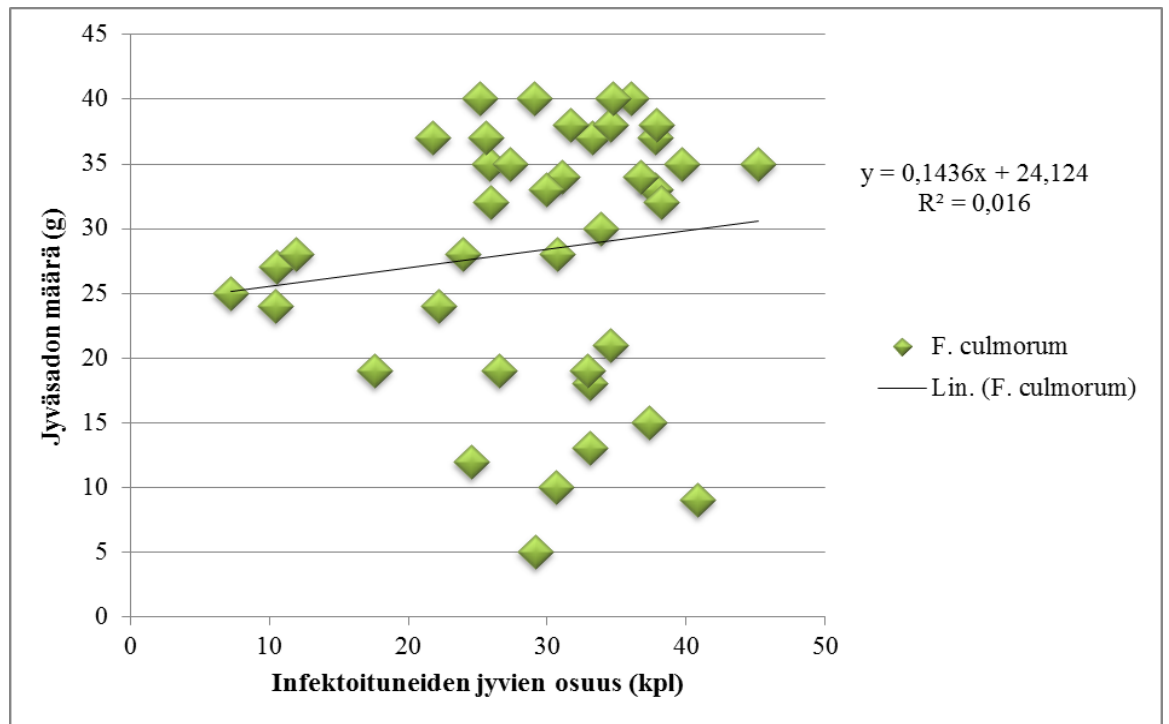
Kauralajikkeiden sadot punnittiin ruukuittain, ja lajikkeen keskimääräinen sato määritettiin (Taulukko 7). *F. culmorum* -sienellä tartutetuista lajikkeista, suurin sato oli Typhonilla (37,9 g) ja pienin Bessinillä (12,4 g). *F. langsethiae* -sienellä tartutetuista lajikkeista suurin sato oli Belindalla (43,4 g) ja pienin jälleen Bessinillä (22,8 g). Satokeskiarvot eivät juuri poikenneet tilastollisesti toisistaan kummankaan sienen tai minkään lajikkeen kohdalla. Ainoana poikkeuksena oli Bessin-lajike, jonka satokeskiarvo oli selkeästi muiden lajikkeiden satokeskiarvoa huonompi molemmilla sienillä tartutettaessa.

Taulukko 7. *F. culmorum*- ja *F. langsethiae* -sienellä tartutettujen lajikkeiden satokeskiarvot (g) ja satoerojen tilastollinen merkitsevyys.

Lajike	Tartuke	Satokeski-arvo (g)	Tilastollinen merkitsevyys
Belinda	<i>F. culmorum</i>	35,1	A, B
Bessin	<i>F. culmorum</i>	12,4	D
Haga	<i>F. culmorum</i>	28,6	B, C
Hurdal	<i>F. culmorum</i>	35,2	A, B
Neklan	<i>F. culmorum</i>	33,3	A, B, C
Odal	<i>F. culmorum</i>	27,8	B, C
Ringsaker	<i>F. culmorum</i>	25,1	C
Typhon	<i>F. culmorum</i>	37,9	A
Belinda	<i>F. langsethiae</i>	43,4	A
Bessin	<i>F. langsethiae</i>	22,8	C
Haga	<i>F. langsethiae</i>	31,7	B, C
Hurdal	<i>F. langsethiae</i>	31,7	B, C
Neklan	<i>F. langsethiae</i>	41,9	A, B
Odal	<i>F. langsethiae</i>	36,7	A, B
Ringsaker	<i>F. langsethiae</i>	32,2	B, C
Typhon	<i>F. langsethiae</i>	35,6	A, B

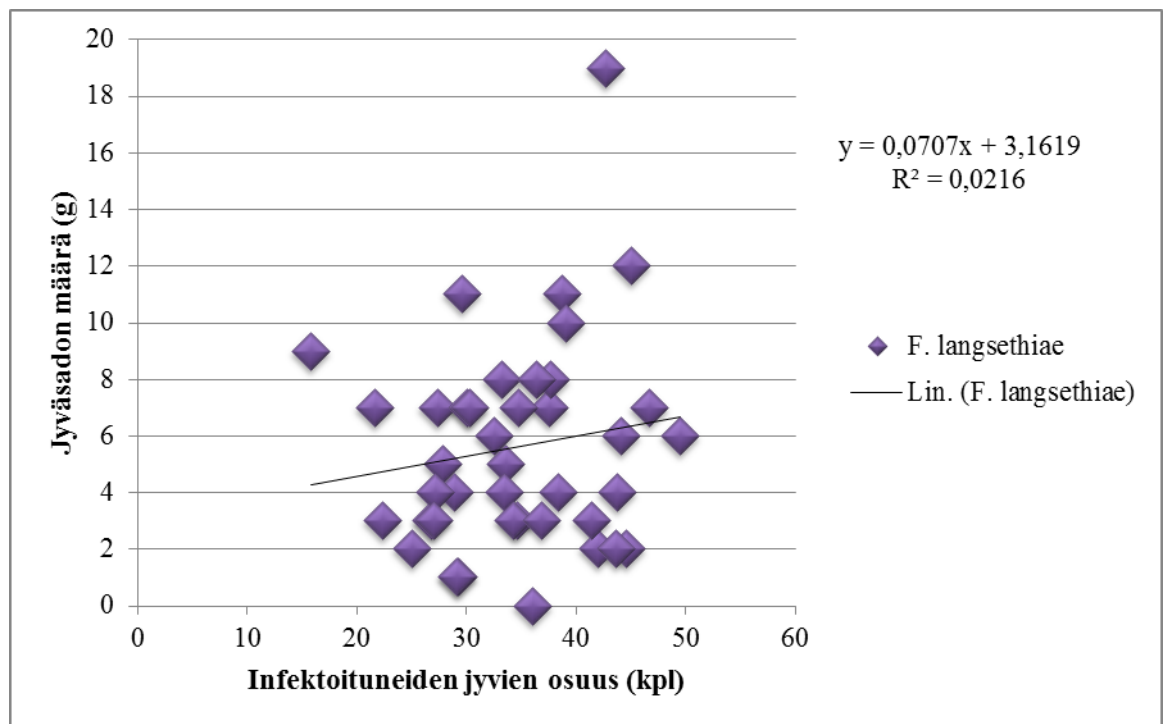
*Samalla kirjaimella (A, B, C, D, E) merkityt luvut eivät poikkea tilastollisesti toisistaan

Satokeskiarvojen lisäksi tarkasteltiin sekä *F. culmorum*- että *F. langsethiae* -sienellä tartutettujen lajikkeiden jyväsadon määrää verrattuna tartunnan saaneiden jyvien osuuteen. Kappalemääräinen infektoituneiden jyvien osuus ja jyväsadon määrä laskettiin ruukkukohtaisesti kaikista lajikkeista. *F. culmorum* -sienellä tartutettujen lajikkeiden satomäärän ja sadossa olleiden sienten välillä ei ollut korrelaatiota ($R^2=0,016$) (Kuva 6).



Kuva 6. *F. culmorum* -sienellä tartutettujen lajikkeiden ruukkukohtainen jyväsadon määrä verrattuna tartunnan saaneiden jyvien osuuteen.

F. langsethiae -sienellä tartutettujen lajikkeiden ruukkukohtaisen sadon ja tartunnan saaneiden jyvien välinen suhde (Kuva 7) oli *F. culmorum* -sienellä tartutettujen lajikkeiden tavoin erittäin heikko ($R^2=0,0216$).



Kuva 7. *F. langsethiae* -sienellä tartutettujen lajikkeiden ruukkukohtainen jyvänsadon määrä verrattuna tartunnan saaneiden jyvien osuuteen.

8.3 Toksiinipitoisuudet kauralajikkeissa

Kaikista satonäytteistä määritettiin DON-, DAS-, 3-AcDON-, F-X-, NIV-, T-2-, HT-2- ja 15-AcDON-pitoisuudet. Määrittystä varten yhdistettiin viiden ruukun sato jokaisesta lajikkeesta. DAS-, F-X-, NIV- ja 15-AcDON-toksiineja ei löytynyt näytteistä. 3-AcDON-pitoisuudet olivat vähäisiä kaikilla lajikkeilla. *F. culmorum* -sienellä tartutetuista lajikkeista mitattiin korkeita DON-toksiinipitoisuuksia (Taulukko 8), mutta T-2- ja HT-2-toksiineja niissä ei ollut. Typhon-lajikkeella oli korkein DON-pitoisuus ja Neklanilla puolestaan matalin.

Taulukko 8. *F. culmorum* -sienellä tartutettujen lajikkeiden satonäytteiden toksiinipitoisuudet (µg/kg).

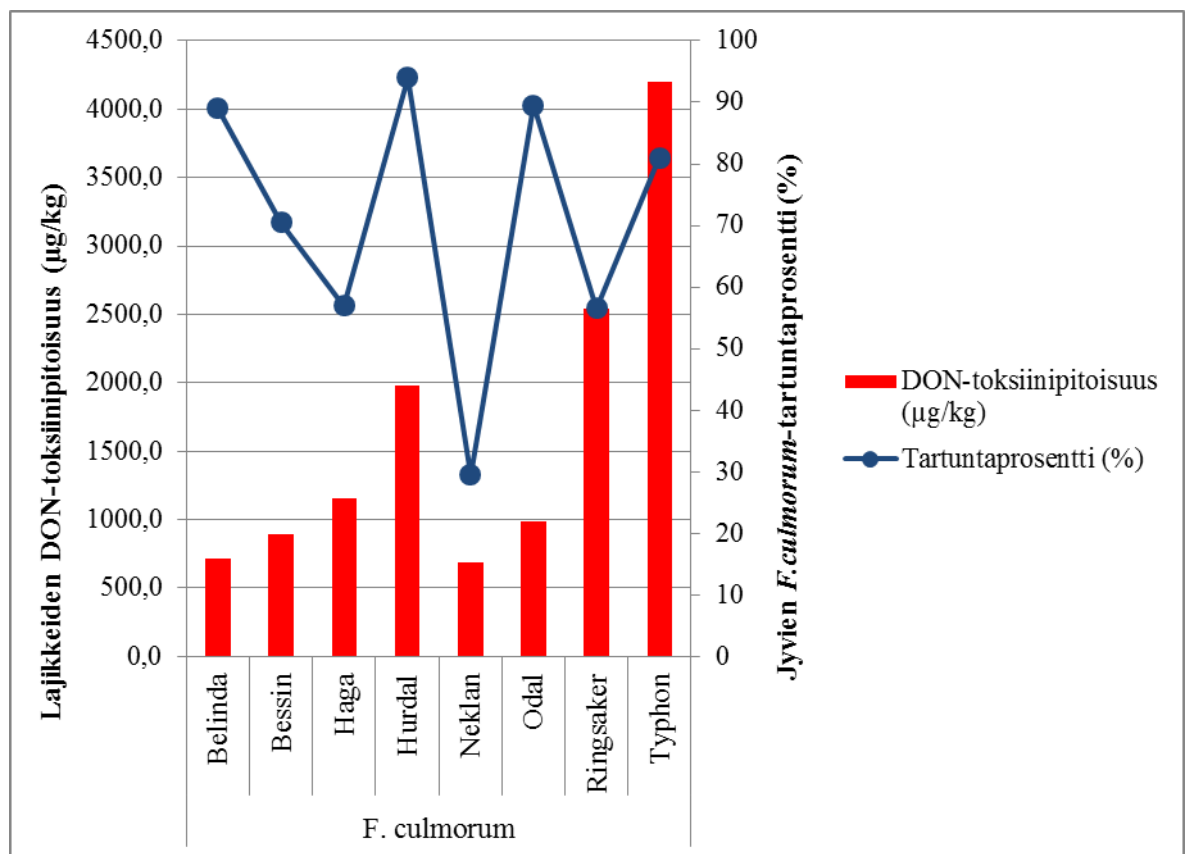
Lajike	Tartuke	DON µg/kg	DAS µg/kg	3- AcDON µg/kg	F-X µg/kg	NIV µg/kg	T-2 µg/kg	HT-2 µg/kg	15- AcDON µg/kg
Belinda	<i>F. culmorum</i>	717,3	-	536,1	-	-	-	-	-
Bessin	<i>F. culmorum</i>	894,4	-	587,0	-	-	-	-	-
Haga	<i>F. culmorum</i>	1158,3	-	815,1	-	-	-	-	-
Hurdal	<i>F. culmorum</i>	1979,1	-	615,4	-	-	-	-	-
Neklan	<i>F. culmorum</i>	686,5	-	516,6	-	-	-	-	-
Odal	<i>F. culmorum</i>	986,0	-	872,8	-	-	-	-	-
Ringsaker	<i>F. culmorum</i>	2545,8	-	651,1	-	-	-	-	-
Typhon	<i>F. culmorum</i>	4198,7	-	1857,4	-	-	-	-	-

F. langsethiae -sienellä tartutetuista lajikkeista mitattiin alhaisia T-2- ja HT-2-pitoisuuksia (Taulukko 9). Poikkeuksena oli Typhon-lajike, jonka T-2- ja HT-2-pitoisuus oli selkeästi muita lajikkeita korkeampi. Odal-lajikkeesta näitä toksineja ei löytynyt. T-2- ja HT-2-toksiinien lisäksi *F. langsethiae* -sienellä tartutetuista lajikkeista löytyi myös melko paljon muiden sienten tuottamaa DON-toksiinia. Korkein pitoisuus mitattiin Typhonista ja matalin Neklanista.

Taulukko 9. *F. langsethiae* -sienellä tartutettujen lajikkeiden satonäytteiden toksiinipitoisuudet (µg/kg).

Lajike	Tartuke	DON µg/kg	DAS µg/kg	3- AcDON µg/kg	F-X µg/kg	NIV µg/kg	T-2 µg/kg	HT-2 µg/kg	15- AcDON µg/kg
Belinda	<i>F. langsethiae</i>	214,6	-	21,5	-	-	7,2	14,3	-
Bessin	<i>F. langsethiae</i>	378,4	-	149,9	-	-	7,1	14,3	-
Haga	<i>F. langsethiae</i>	400,0	-	35,4	-	-	7,1	14,2	-
Hurdal	<i>F. langsethiae</i>	83,8	-	62,8	-	-	20,9	14,0	-
Neklan	<i>F. langsethiae</i>	64,4	-	21,5	-	-	7,2	21,5	-
Odal	<i>F. langsethiae</i>	310,2	-	110,3	-	-	-	-	-
Ringsaker	<i>F. langsethiae</i>	609,1	-	10,6	-	-	14,2	14,2	-
Typhon	<i>F. langsethiae</i>	695,1	-	146,1	-	-	481,5	511,1	-

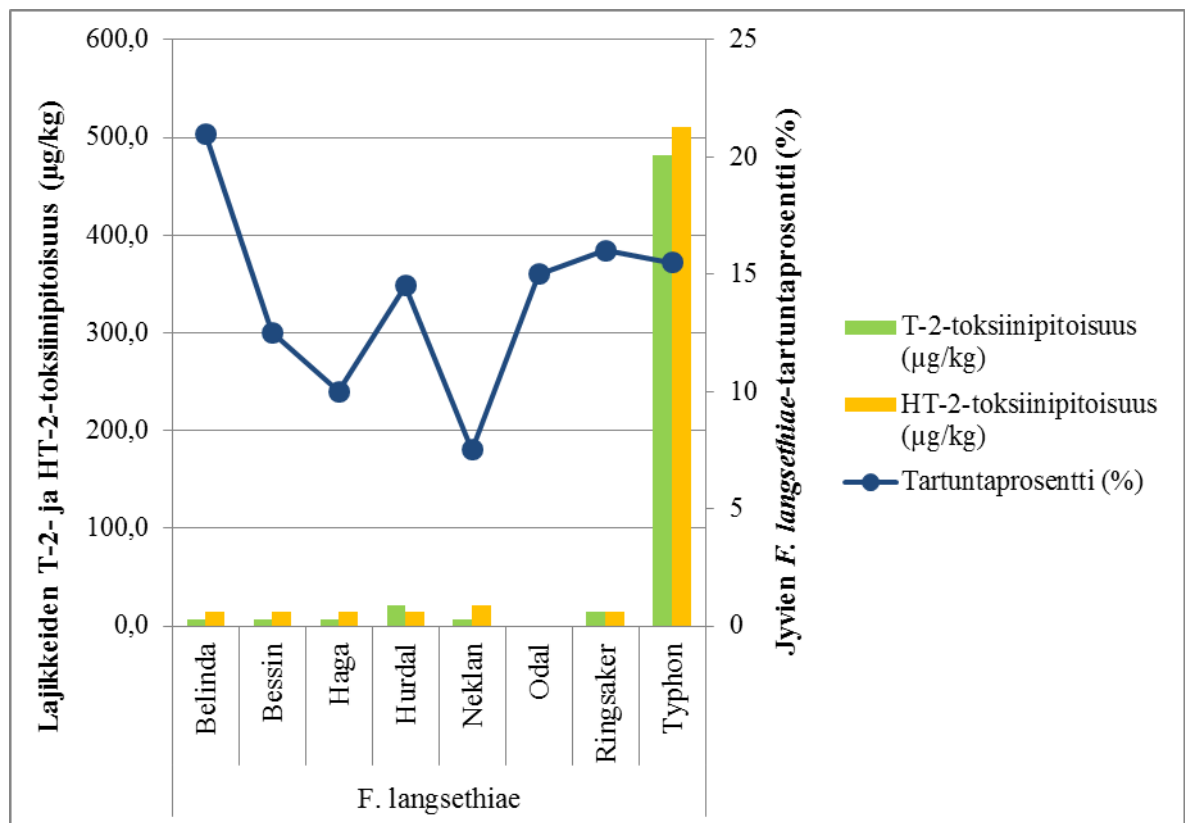
F. culmorum -sienellä tartutettujen lajikkeiden DON-toksiinipitoisuudet ja infektoituneiden jyvien välinen yhteys vaihteli lajikkeittain (Kuva 8). Puolella lajikkeista (Belinda, Bessin, Hurdal ja Odal) oli korkea tartuntaprosentti, mutta jyvissä vain vähäinen määrä DON-toksiinia. Kahdella lajikkeella (Haga ja Ringsaker) tartuntaprosentti oli alhainen, mutta jyvissä oli korkea DON-toksiinipitoisuus. Neklan oli ainoa lajike, jolla oli alhainen tartuntaprosentti ja DON-toksiinipitoisuus. Typhonilla oli puolestaan korkea tartuntaprosentti ja DON-toksiinipitoisuus.



Kuva 8. *F. culmorum* -sienellä tartutettujen lajikkeiden jyvien tartuntaprosentin (%) ja DON-toksiinipitoisuuden (µg/kg) välinen yhteys. Tartuntaprosentti (%) on laskettu 200 jyvistä.

F. langsethiae -sienellä tartutettujen lajikkeiden tartunnan saaneiden jyvien ja jyvissä olleiden T-2- ja HT-2-toksiinipitoisuuksien välillä ei havaittu selvää yhte-

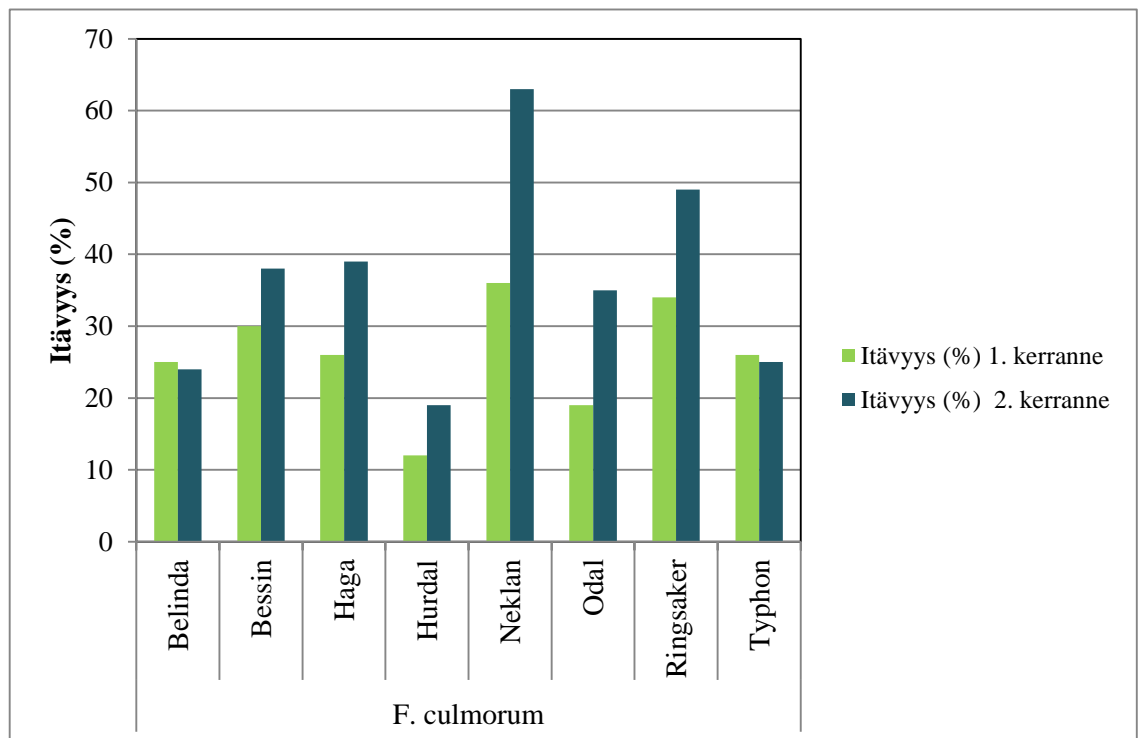
yttöä (Kuva 9). Kolmella lajikkeella (Belinda, Odal ja Ringsaker) oli korkea tartuntaprosentti, mutta alhainen jyvien T-2- ja HT-2-toksiinipitoisuus. Bessin- ja Hagalajikkeilla oli sekä alhainen tartuntaprosentti että toksiinipitoisuus jyvissä. Osalla lajikkeista (Hurdal, Neklan ja Typhon) tartuntaprosentti oli alhainen, mutta jyvistä löytyi korkeita toksiinimääriä.



Kuva 9. *F. langsethiae* -sienellä tartutettujen lajikkeiden jyvien tartuntaprosentin (%) sekä T-2- ja HT-2-toksiinien välinen yhteys. Tartuntaprosentti (%) on laskettu 200 jyväs-tä.

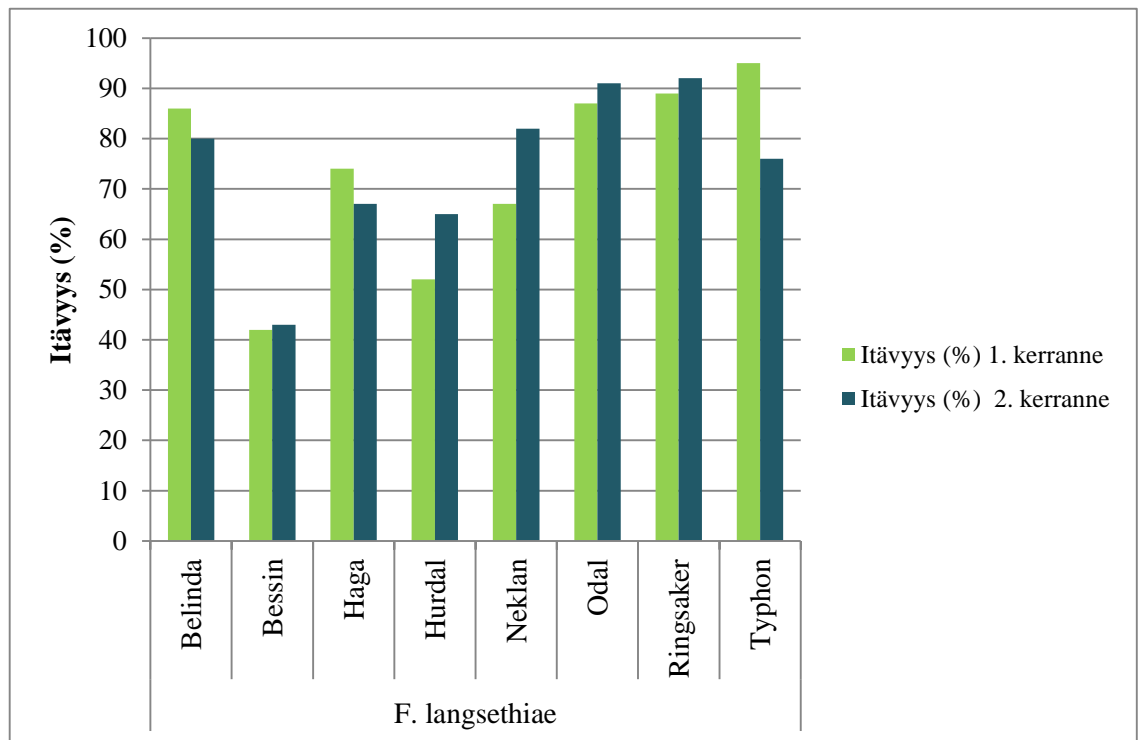
8.4 Kaurasatojen itävyystulokset

F. culmorum -sienellä tartutettujen lajikkeiden itävyydet vaihtelivat ensimmäisen ja toisen eli kerranteen välillä ($p < 0,001$) (Kuva 10). Itävyys vaihteli *F. culmorum* -sienellä tartutetuissa lajikkeissa 12–63 % välillä. Suurin ero kerranteiden välillä oli Neklan-lajikkeella ja pienin Belindalla sekä Typhonilla.



Kuva 10. *F. culmorum* -sienellä tartutettujen lajikkeiden itävyys (%) kahdessa kerranteessa.

F. langsethiae -sienellä tartutettujen lajikkeiden itävyys ensimmäisen ja toisen kerranteen välillä oli melko tasainen (Kuva 11). Itävyys vaihteli 42–95 % välillä. Yli puolella lajikkeista itävyys oli kuitenkin parempi toisessa kuin ensimmäisessä kerranteessa ($p = 0.8065$). Suurin ero kerranteiden välillä oli Typhon-lajikkeella ja pienin Bessinillä.



Kuva 11. *F. langsethiae* -sienellä tartutettujen lajikkeiden itävyys (%) kahdessa kerranteessa.

Kaikille lajikkeille määritettiin myös keskimääräiset itävyydet sekä itävyyserojen tilastollinen merkitsevyys. Muita lajikkeita verrattiin Belindaan. *F. culmorum* -sienellä tartutetuista lajikkeista (Taulukko 10) Belindaa huonommin iti Hurdal ($p=0,0247$) ja paremmin Bessin ($p=0,0361$), Neklan ($p<0,001$) sekä Ringsaker ($p=0,0003$). Belindan kanssa yhtä hyvin itivät Haga ($p=0,0751$), Odal ($p=0,5652$) ja Typhon ($p=0,8163$). Korkein itävyys oli Neklanilla (49,5 %) ja alhaisin Hurdalilla (15,5 %).

Taulukko 10. *F. culmorum* -sienellä tartutettujen lajikkeiden itävyys (%) sekä lajikkeen ja Belindan välisen itävyyseron tilastollinen merkitsevyys.

Lajike	Tartuke	Itävyys (%)	p-arvo*
Belinda	<i>F. culmorum</i>	24,5	verranne
Bessin	<i>F. culmorum</i>	34,0	0,0361
Haga	<i>F. culmorum</i>	32,5	0,0751
Hurdal	<i>F. culmorum</i>	15,5	0,0247
Neklan	<i>F. culmorum</i>	49,5	<0,001
Odal	<i>F. culmorum</i>	27,0	0,5652
Ringsaker	<i>F. culmorum</i>	41,5	0,0003
Typhon	<i>F. culmorum</i>	25,5	0,8163

* $P < 0,05$

F. langsethiae -sienellä tartutetuista lajikkeista (Taulukko 11) Belindaa huonommin itivät Bessin ($p < 0,001$), Haga ($p = 0,0034$), Hurdal ($p < 0,001$) ja Neklan ($p = 0,0388$). Parempi itävyys oli Ringsakerilla ($p = 0,0289$) ja yhtä hyvin itivät Typhon ($p = 0,4929$) sekä Odal ($p = 0,0859$). Korkein itävyys oli Ringsakerilla (90,5 %) ja alhaisin Bessinillä (42,5 %).

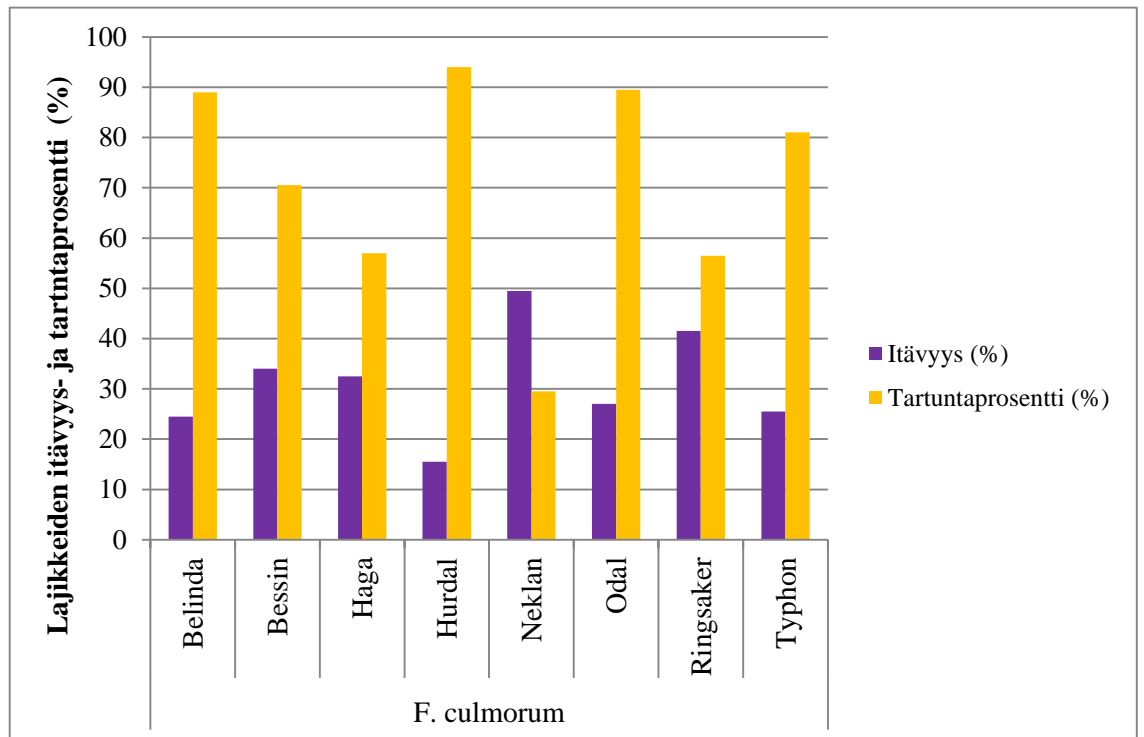
Taulukko 11. *F. langsethiae* -sienellä tartutettujen lajikkeiden itävyys (%) sekä lajikkeen ja Belindan välisen itävyyseron tilastollinen merkitsevyys.

Lajike	Tartuke	Itävyys (%)	p-arvo*
Belinda	<i>F. langsethiae</i>	83,0	verranne
Bessin	<i>F. langsethiae</i>	42,5	<0,001
Haga	<i>F. langsethiae</i>	70,5	0,0034
Hurdal	<i>F. langsethiae</i>	58,5	<0,001
Neklan	<i>F. langsethiae</i>	74,5	0,0388
Odal	<i>F. langsethiae</i>	89,0	0,0859
Ringsaker	<i>F. langsethiae</i>	90,5	0,0289
Typhon	<i>F. langsethiae</i>	85,5	0,4929

* $P < 0,05$

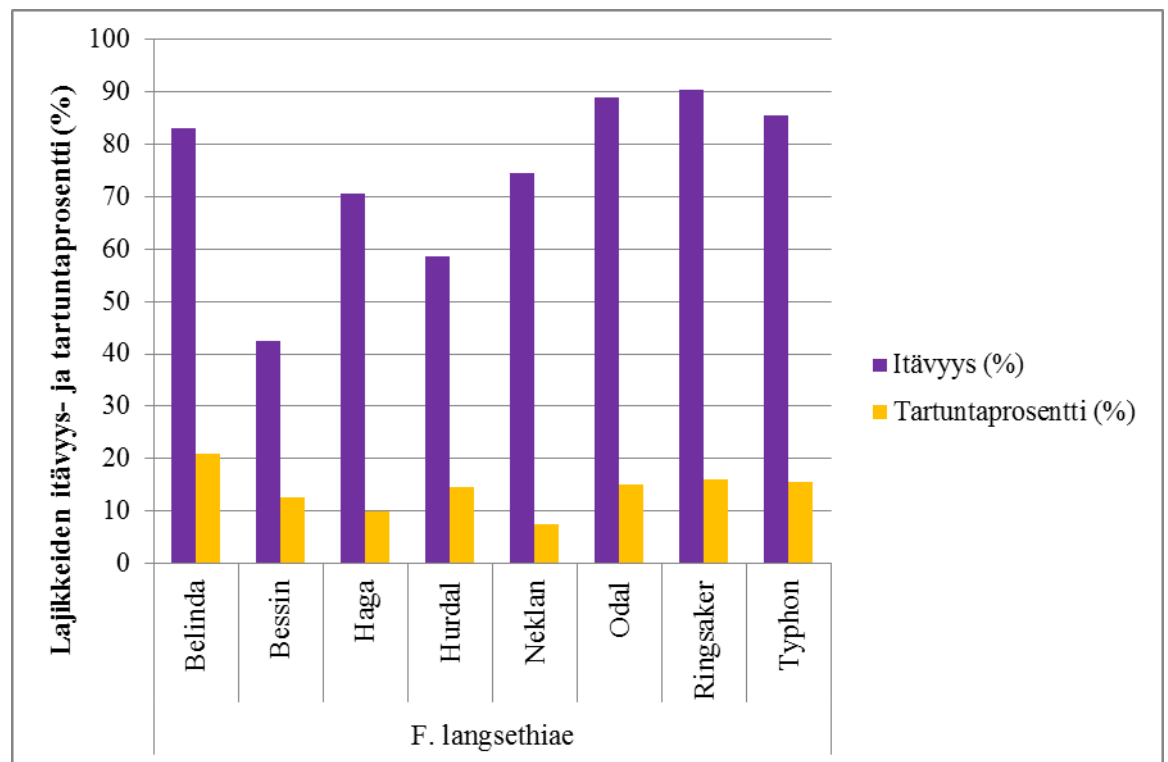
F. culmorum -sienellä tartutetuissa lajikkeissa oli havaittavissa selkeä yhteys tartuntaprosentin ja jyvien itävyyden välillä (Kuva 12). Neklan-lajiketta lukuun ot-

tamatta, kaikilla lajikkeilla tartuntaprosentti oli korkea ja itävyys alhainen. Neklanilla tartuntaprosentti oli alhaisempi verrattuna muihin lajikkeisiin ja itävyys korkeampi.



Kuva 12. *F. culmorum* -sienellä tartutettujen lajikkeiden tartuntaprosentin (%) ja jyvien itävyyden (%) välinen yhteys.

Myös *F. langsethiae* -sienellä tartutetuissa lajikkeissa oli yhteys itävyyden ja tartuntaprosentin välillä (Kuva 13). Lajikkeiden itävyys oli sitä heikompi mitä korkeampi oli tartuntaprosentti.



Kuva 13. *F. langsethiae* -sienellä tartutettujen lajikkeiden tartuntaprosentin (%) ja itävyyden välinen yhteys.

9 TULOSTEN TARKASTELU

9.1 *Fusarium*-sienten määrä kauralajikkeissa

Ensimmäisen ja toisen näytteenoton näytteistä määritettiin tartukkeena käytettyjen sienien lisäksi myös muut näytteissä esiintyneet *Fusarium*-lajit. Ensimmäisen ja toisen näytteenoton maljausten väliset tartuntaprosenttien erot johtuivat todennäköisesti eri *Fusarium*-lajien vaihtelevista kasvunopeuksista sekä eri sienten kilpailukyvyistä. *F. langsethiae*-sieni oli melko hidaskasvuinen. Tällä saattoi olla vaikutusta siihen, että *F. langsethiae*-sienellä tartutettujen kauralajikkeiden tartuntaprosenttien erot olivat suuremmat kuin nopeakasvuisella *F. culmorum*-sienellä tartutetuilla lajikkeilla.

Varsinkin *F. langsethiae*-sienellä tartutetuista kauralajikkeista siemenen kautta tulleita eri sienilajeja löytyi huomattava määrä. Ensimmäisessä näytteenottovaiheessa *F. langsethiae*-sienen määrä oli samalla tasolla *F. graminearum*-, *F. culmorum*-, *F. sporotrichioides* ja *F. tricinctum*-sienten kanssa. Toisessa näytteenotossa muut nopeakasvuisemmat sienet lienevät syrjäyttäneet *F. langsethiae*-sienen ja estäneet sen kasvua. *F. culmorum*-sieni pystyi puolestaan kilpailemaan muiden sienten kanssa ja kasvamaan paremmin. Mahdollisesti tämän vuoksi *F. culmorum*-sienellä tartutettujen lajikkeiden ensimmäisen ja toisen näytteenoton maljausten väliset erot olivat tasaisemmat kuin *F. langsethiae*-sienellä tartutetuilla lajikkeilla.

Lajikkeista määritettyjen *Fusarium*-sienten määrään perustuva kestävyys oli puolella lajikkeista (Belinda, Bessin, Hurdal ja Odal) heikompi *F. culmorum*- kuin *F. langsethiae*-sientä vastaan. Yhtä kestäviä molempia sieniä vastaan näyttivät olevan lajikkeet Haga, Neklan ja Typhon. Ainoastaan Ringsaker-lajike vaikutti olevan kestävämpi *F. culmorum*- kuin *F. langsethiae*-sientä vastaan.

Infektoituneiden jyvien suurempi osuus röyhyn ylä- kuin alaosissa johtui todennäköisesti kehittyvien jyvien kasvuasteesta tartutushetkellä. Röyhyn yläosa kehittyy kauralla aikaisemmin kuin alaosa (Peltonen-Sainio ym. 2005). Tämän vuoksi näyte otettiin erikseen röyhyn ylä- ja alaosasta. Tulosten perusteella kasvuasteella on merkittävä vaikutus kauralajikkeiden infektoitumisalttiuteen. Ensimmäisenä

kehittynyt röyhyn yläosa on todennäköisesti ollut alttiimpi tartutukselle kuin kehittymättömämpi alaosa. Sumutus tartutusmenetelmänä on kuitenkin oletettavasti ollut tarpeeksi tehokas. Bjørnstad ja Skinnes (2008) sekä Tekle ym. (2013) ovat saaneet omissa kokeissaan onnistuneita tuloksia samalla menetelmällä. Röyhyn ylä- ja alaosien välistä infektoituneiden jyvien osuuseroa olisi mahdollisesti voitu tasoittaa tartuttamalla sama kasviyksilö kahteen kertaan. Tekle ym. (2013) inokuloivat tutkimuksessaan koekasvinsa ensimmäisen kerran röyhyn ollessa kokonaan ulkona. Toinen tartutus tehtiin kolmen vuorokauden jälkeen ensimmäisestä tartutuksesta, jolloin pystyttiin tartuttamaan myös myöhemmin kehittyneet röyhyn osat (Tekle ym. 2013).

Satonäytteiden sienimäärien väliset erot olivat selkeästi suuremmat aiempiin näytteenottoihin verrattuna. Tämä todennäköisesti johtui näytteissä olleiden sienten kasvavasta kilpailusta. Erityisesti *F. langsethiae* -sienen mahdollisuudet kilpailla elintilasta muiden sienten kanssa heikkenivät kauran kasvun edetessä. *F. langsethiae* -sieni on heikko kilpailija (Imathiu 2008). Sillä on hidas kasvuvauhti ja harva sienirihmasto, joten muut nopeammin kasvavat lajit peittävät sen helposti alleen (Torp ja Nirenberg 2004). Tämän vuoksi satonäytteiden *F. langsethiae* -pitoisuudet olivat vieläkin vähäisemmät kuin ensimmäisessä ja toisessa näytteenotossa. Parikka ym. (2008b) mukaan peltoaineistossa on havaittu, että *F. langsethiae* -sieni aiheuttaa jyvänkehityksen alussa runsaamman tartunnan kuin myöhemmin kasvukaudella. *F. culmorum* -sienen selviytymismahdollisuudet olivat puolestaan huomattavasti paremmat sienen aggressiivisen kasvatavan takia. Tästä johtuen *F. culmorum* -sienellä tartutetuissa lajikkeissa *Fusarium*-sienten määrä oli korkeampi satonäytteissä kuin ensimmäisessä tai toisessa näytteenotossa.

Kaurasta on silmämääräisesti hankalaa määrittää *Fusarium*-sieniä sienten aiheuttamien vaihtelevien oireiden vuoksi. *F. langsethiae* -tartunta on yleensä kaurassa täysin oireeton (Imathiu 2008), mutta infektoituneiden jyvien maljaaminen agar-maljoille oli tähän tutkimukseen sopiva menetelmä. Luotettavinta maljaaminen on tehdä satonäytteistä ja laskea maljatuista jyvistä infektoituneiden jyvien osuus (Bjørnstad ja Skinnes 2008). Myös Bernhoft ym. (2012) maljasivat jyviä agar-

maljoille ja tarkastelivat infektoituneiden jyvien osuutta kaikista maljatuista jyivistä. He tunnistivat kaikki jyivistä löytyneet *Fusarium*-lajit tartukkeena käytettyjen sienten lisäksi, kuten tehtiin myös tässä tutkimuksessa. *Fusarium*-sienten määrä sato näytteissä osoitti, että Ringsaker oli ainoana lajikkeena alttiimpi *F. langsethiae*- kuin *F. culmorum* -sienelle. Bessin-, Odal- ja Typhon-lajikkeiden kohdalla kestävyys molemmille sienille oli suhteellisen sama. Belinda, Haga, Hurdal ja Neklan näyttivät olevan alttiimpia *F. culmorum*- kuin *F. langsethiae* -sienelle.

Tämän tutkimuksen osoittamat erot lajikkeiden välisissä *Fusarium*-määrissä kertovat tilanteen kokeen olosuhteissa, joissa lämpötila, kosteus, ravinteet ja valon määrä olivat vakioituneet. Mahdolliset erot voivat olla osoitus kenttäkestävyydestä, jonka ilmeneminen on vahvasti sidoksissa ympäristöoloihin sekä tartunnan voimakkuuteen. *F. langsethiae* -kokeen tulokset olisivat voineet olla toisenlaiset korkeammassa tautipaineessa ilman muita kilpailevia *Fusarium*-lajeja.

9.2 *Fusarium*-sienten vaikutus jyväsadon määrään

Keskimääräiset satomäärät olivat kaikilla lajikkeilla lähes samat. Bessin-lajikkeen sato oli molemmilla tartukkeilla selkeästi huonoin verrattuna muihin lajikkeisiin. Tilastollisen tarkastelun perusteella voidaan olettaa, että tartukkeena käytetyt sienet vaikuttivat samankaltaisesti eri kauralajikkeisiin. Vaikka kauralajikkeiden luontainen sadontuottokyky osaltaan selittääkin lajikkeiden välisiä satoeroja, *F. culmorum*- ja *F. langsethiae* -sienten todellista vaikutusta sadon määrään ei tämän tutkimuksen perusteella voi päätellä. Koesuunnitelmasta puuttuivat puhtaat tartuttamattomat verranteet, joiden olisi pitänyt olla osa suunnitelmaa todellisten sato-vaikutusten määrittämiseksi.

9.3 Kauralajikkeiden toksiinipitoisuudet

Tutkimuksessa käytettiin norjalaista alkuperää olevia jyviä, joissa ilmeni tutkimuksen edetessä vahva *Fusarium graminearum* -kanta. Jyvät olivat peitattuja, mutta peittauksen teho *F. graminearum* -sientä vastaan ei ollut riittävä. Erityisesti tartutuskokeissa käytettävien kylvösiementen puhtaus on tärkeä tekijä. Käyttämällä terveitä kylvösiemeniä voidaan sulkea pois yksi mahdollinen virhetekijä, joka

voi vaikuttaa tutkimustuloksiin. Tässä tutkimuksessa tartukkeina käytettyjen sienien lisäksi näytteistä löytyi myös merkittäviä määriä *F. graminearum* -sieniä. Nämä sienet ovat tärkeitä DON-toksiinien tuottajia, joten niillä oli ilmeisesti vaikutusta näytteiden toksiinipitoisuuksiin. *F. graminearum* -kanta on siis todennäköisesti vääristänyt toksiinimääritystuloksia.

Satonäytteiden toksiinipitoisuuksien määrittämiseen käytetty kaasukromatografia tarjosi spesifisen ja luotettavan mittaussuomenetelmän. Sen luotettavuutta ja lineaarisuutta on testattu muun muassa toistettavuus- ja kalibrointikokeilla (Hietaniemi ym. 2004). Tätä samaa menetelmää mykotoksiinien määrälliseen mittaukseen ovat käyttäneet omissa tutkimuksissaan myös Bernhoft ym. (2012) ja Hietaniemi ym. (2004).

F. culmorum -sienellä tartutetuista lajikkeista löytyi odotusten mukaisesti runsaasti DON-toksiinia. Tuloksista ei kuitenkaan pystytty päättämään, kuinka suuri osa toksiinista on peräisin *F. culmorum* -sienestä ja kuinka suuri osa siemenestä tulleesta *F. graminearum* -sienestä. Infektoituneiden jyvien ja jyvissä esiintyneiden toksiinien määrän välisessä yhteydessä oli tulosten mukaan vaihtelua. Osalla lajikkeista (Haga ja Ringsaker) oli vähän infektoituneita jyviä, mutta jyvissä oli korkeita toksiinipitoisuuksia. Osalla lajikkeista (Belinda, Bessin, Hurdal ja Odal) oli puolestaan paljon infektoituneita jyviä, mutta jyvissä oli alhaisia toksiinipitoisuuksia. Neklan oli ainoa lajike, jolla oli vähän infektoituneita jyviä ja jyvissä alhainen DON-toksiinipitoisuus. Typhon oli puolestaan ainoa lajike, jolla oli sekä paljon infektoituneita jyviä että jyvissä korkea DON-toksiinipitoisuus.

Vaihteleviin toksiinipitoisuuksiin saattoivat vaikuttaa *F. culmorum* -sienen elinolosuhteet. Niissä kauralajikkeissa, joissa mahdollisesti oli sienien kannalta epäedulliset olosuhteet, sieni saattoi tuottaa runsaammin toksiinia, vaikka infektoituneita jyviä olikin vähän. Toksiinituotannon avulla sienellä on saattanut olla paremmat mahdollisuudet selviytyä sille epäsuotuisissa olosuhteissa. Niissä lajikkeissa, joissa olosuhteet olivat mahdollisesti *F. culmorum* -sienelle suotuisat, sienetoksiinintuotanto oli heikompa.

Liu ym. (1997) havaitsivat tutkimuksissaan, että infektoituneiden jyvien ja jyvissä olevan DON-toksiinin määrä voi vaihdella eikä niiden välillä ole selvää yhteyttä.

Korrelaation on osoitettu olevan merkittävä, kun kyseessä on todella runsaasti infektoituneiden jyvien ja korkeiden DON-pitoisuuksien välinen yhteys. Korrelaatio vähenee samalla, kun jyvien infektoituneisuusaste laskee (Liu ym. 1997). Useat eri tekijät, kuten viljelytekniikka ja kauralajikkeen kasvuajan pituus, voivat vaikuttaa sienien tuottamaan toksiinimäärään (Parikka ym. 2008a). Toksiinipitoisuuden on voinut vaikuttaa myös kasvihuoneen kostea ja lämmin ilmasto. Suurin vaikutus on kuitenkin todennäköisesti ollut kokeessa käytetyillä *Fusarium*-lajeilla ja kauralajikkeilla (Foroud ja Eudes 2009; Bernhoft ym. 2010; Hofgaard ym. 2010). Kuorettomassa kaurassa sieni tuottaa yleensä vähemmän toksiinia kuin kuorellisessa. Yan ym. (2008) mukaan kuoren poistaminen jyvistä voi vähentää keskimäärin 86 % DON-toksiinin määrästä jyvässä.

F. langsethiae -sienellä tartutetuista lajikkeista löytyi T-2- ja HT-2-toksiineja melko vähän. Tähän oli todennäköisesti syynä muiden sienten, varsinkin DON-tuottajien, aiheuttama kilpailu. *F. graminearum*- ja *F. culmorum* -sienten vuoksi *F. langsethiae* -sienellä tartutetuista lajikkeista löytyi paljon DON-toksiinia. Osasyynä on voinut olla se, että *F. langsethiae* -infektio on hankalampi saada keinoitekoisesti aikaan kauralla (Imathiu 2008). Kasvihuonekoe soveltui hyvin tähän tutkimukseen, koska kasvihuoneessa ilmasto-olosuhteita pystytään säätelemään toisin kuin pellolla. Tällä tavoin mahdollistetaan *F. langsethiae* -sienelle mahdollisimman suotuisat olosuhteet infektoida kauran jyviä (Imathiu 2008).

Typhon-lajikkeesta löytyi muita lajikkeita runsaammin T-2- ja HT-2-toksiineja ja sillä oli kolmanneksi suurin *F. langsethiae* -sienipitoisuus. Typhonista määritettiin myös *F. graminearum*- ja *F. poae* -sieniä melko paljon. *F. langsethiae* -sienen kilpailu muiden *Fusarium*-sienten kanssa on mahdollisesti aiheuttanut runsaamman toksiinituotannon, jonka avulla sieni on yrittänyt tuhota kilpailijansa. Toksiinimäärityksen tulosten perusteella voitaisiin olettaa Typhon-lajikkeella olevan heikko kestävyys *F. langsethiae* -sientä vastaan. Typhonista löydettiin myös suurin DON-toksiinipitoisuus. Typhonista löytyneen suuren DON-toksiinipitoisuuden tuottajina olivat joko toinen tai molemmat siemenestä lähtöisin olevista *F. culmorum*- tai *F. graminearum* -lajeista.

F. langsethiae -sienellä tartutetuilla lajikkeilla infektoituneiden jyvien ja niissä olleiden toksiinien määrän välinen yhteys vaikutti vaihtelevan lajikkeesta riippuen. *F. langsethiae* -sienellä tartutettujen Bessin- ja Haga-lajikkeiden infektoituneiden jyvien ja niissä olleiden toksiinien määrä oli suoraan yhteydessä toisiinsa. Molemmilla lajikkeilla tartunnan saaneita jyviä oli vähän ja jyvien T-2- ja HT-2-toksiinipitoisuus oli alhainen. Hurdal -, Neklan- ja Typhon-lajikkeilla infektoituneita jyviä oli vähän, mutta niiden toksiinipitoisuudet olivat korkeat. Osalla lajikkeista (Belinda, Odal ja Ringsaker) oli puolestaan paljon infektoituneita jyviä, mutta niiden toksiinipitoisuus oli matala. Tähän on todennäköisesti ollut syynä *F. culmorum* -sienellä tartutettujen lajikkeiden tavoin sienen elinolosuhteet. Jos lajikkeessa oli sienen kannalta heikot olosuhteet, se on tuottanut enemmän toksiniä kuin paremmissa olosuhteissa elävä sieni.

Lajikkeiden kestävyyydessä oli vaihtelua eri sienten välillä, kun tuloksia tarkasteltiin kasveista löytyneiden toksiinimäärien kannalta. Suurimmalla osalla lajikkeista (Bessin, Hurdal, Ringsaker ja Typhon) kestävyys oli samansuuntainen sekä *F. culmorum*- että *F. langsethiae* -sientä vastaan. Hagalla ja Odalilla kestävyys oli heikompi *F. culmorum* -sientä vastaan. Belindalla ja Neklanilla kestävyys oli heikompi *F. langsethiae* -sientä vastaan.

9.4 *Fusarium*-tartunnan vaikutus sadon itävyyteen

Itävyystulosten perusteella *F. culmorum* -sienellä tartutettujen lajikkeiden tartuntaprosentilla ja itävyydellä oli suora yhteys. Lajikkeen itävyys oli sitä heikompi mitä korkeampi oli jyvien tartuntaprosentti. *F. langsethiae* -sienellä tartutetuilla lajikkeilla tartuntaprosentin ja itävyyden välinen yhteys oli myös selkeä. Itävyystulosten perusteella lajikkeiden kestävyys *F. culmorum* -sientä vastaan olisi hie- man heikompi kuin *F. langsethiae* -sientä vastaan. Itävyyden kannalta kestävyys *F. culmorum* -sientä vastaan oli heikoin Belinda-, Odal- ja Typhon-lajikkeilla. Heikoin kestävyys *F. langsethiae* -sientä vastaan oli Bessinillä ja Neklanilla. Osalla lajikkeista (Haga, Hurdal ja Ringsaker) kestävyys oli molempia sieniä vastaan suhteellisen samanlainen.

Virallisen itävyysmäärittelyn mukaan tehdyssä itävyyskokeessa pystyttiin selkeästi erottelemaan itäneet ja itämättömät jyvät toisistaan. Tämä oli melko pelkistetty menetelmä, sillä sen perusteella ei pystytty täysin varmasti toteamaan, mikä tai mitkä tekijät vaikuttivat lopulta jyvien itävyyteen. Koska koe tehtiin kasvihuoneessa, jolloin sato ei altistunut puintivioitukselle, kuivurin aiheuttamille vioitukselle eikä muille kasvintuhoajille, on todennäköistä, että merkittävin jyvän itämiseen vaikuttava tekijä on jyvissä ollut *Fusarium*-sienten määrä. Jyvistä määritettyjen *Fusarium*-sienten ja itävyyden välillä oletettiin olevan vahva korrelaatio. Tekle ym. (2013) tutkivat kokeessaan *Fusarium*-sienten vaikutusta jyvien itävyyteen. He kuorivat jyvät, jottei kuoren alla oleva mikrofloora vaikuttaisi jyvien itävyyteen ja vääristäisi kokeen tuloksia. Lisäksi jyvät pintasteriloitiin kastamalla ne 70 % alkoholiin ja 9 % natriumhypokloriittiin (NaOCl) ennen idättämistä. Näillä menetelmillä tutkijat varmistivat, että itävyyteen vaikuttivat ainoastaan infektoituissa jyvissä olleet *Fusarium*-sienet (Tekle ym. 2013).

Norjassa Bjørnstad ja Skinnes (2008) tutkivat *F. graminearum* -sienen vaikutusta kauralajikkeiden itävyyteen. He vertasivat *F. graminearum* -sienellä inokuloituja lajikkeita tartuttamattomiin lajikkeisiin. Tartutuksella havaittiin olevan suuri vaikutus jyvien itävyyteen. *F. graminearum* -sienellä tartutetut lajikkeet itivät selvästi huomommin verrattuna tartuttamattomiin sertifioitujen kylvösiemenen lajikkeisiin (Bjørnstad ja Skinnes 2008). Toisessa tutkimuksessaan tutkijat inokuloivat jalostuksessa käytettäviä kauralajikkeita jälleen *F. graminearum* -sienellä. Kokeen tulokset osoittivat, että lajikkeen geneettinen muuntelu vaikutti sekä itävyyteen että toksiinipitoisuuteen. Toksiinipitoisuuden ja heikentyneen itävyyden välillä oli tulosten mukaan vain heikko korrelaatio, joten niiden todettiin aiheutuvan eri mekanismeista (Bjørnstad ja Skinnes 2008).

Huomioitaessa kaikki tässä tutkimuksessa käytetyt lajikkeen kestävyyttä osoittavat mittarit, kauralajikkeiden välillä oli eroja sienestä riippuen. Suurimmalla osalla lajikkeista (Bessin, Hurdal, Odal ja Typhon) näytti olevan yhtä hyvä kestävyys molempia tartukkeena käytettyjä sieniä vastaan. Kolmella lajikkeella (Belinda, Haga ja Odal) havaittiin olevan hieman heikompi kestävyys *F. culmorum*- kuin *F. langsethiae* -sientä vastaan. Ainoastaan yhdellä lajikkeella, Neklanilla, kestävyys

näytti tulosten perusteella olevan heikompi *F. langsethiae*- kuin *F. culmorum* -sientä vastaan. Kauralajikkeilla voidaan siis olettaa olevan osittainen positiivinen korrelaatio *F. culmorum*- ja *F. langsethiae* -kestävyyden välillä. Tulosten perusteella on mahdollista, että lajikkeen taudinkestävyys on yhtä heikko tai vahva sekä *F. culmorum*- että *F. langsethiae* -sientä vastaan.

Aiemmin on tutkittu kauran taudinkestävyyttä lähinnä *F. culmorum*- ja *F. graminearum* -sieniä vastaan. Kauran *F. langsethiae* -kestävyydestä tietoa on vähän. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella lajikkeiden *F. culmorum*- ja *F. langsethiae* -tautikestävyyden välillä on havaittavissa korrelaatiota, jota mahdollisesti voitaisiin hyödyntää kauran lajikejalostuksessa. Asia vaatii kuitenkin lisätutkimusta, sillä tutkimuksessa ollut koe pitäisi toistaa kasvihuoneessa tuotetulla täysin puhtaalla kylvösiemenellä. Lisätutkimuksessa pitäisi käyttää myös tartuttamattomia kontrollikasveja, jolloin saataisiin tarkempia tuloksia muun muassa tartukkeena käytettyjen sienten vaikutuksesta kauralajikkeiden satomäärään. Tässä kokeessa lähtöoletuksena oli, että käytetty kylvösiemen olisi ollut puhdasta. Kokeen edetessä siemenessä olleet *Fusarium*-tartunnat tulivat yllätyksenä, koska siemen oli tuotettu Norjassa.

Jalostuksen kannalta olisi merkittävää, jos kauran taudinkestävyydessä *F. culmorum*- ja *F. langsethiae* -sieniä vastaan löytyisi yhtäläisyys. Tämä säästäisi muun muassa jalostuskustannuksia sekä nopeuttaisi tulosten aikaansaantia. Jalostajat pystyisivät myös käyttämään aiemmin löytämiään *F. culmorum* -resistenttejä lajikkeita kehittäessään *F. langsethiae* -sientä kestäviä lajikkeita.

10 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän tutkielman tavoitteena oli tutkia kauralajikkeiden taudinkestävyyttä *F. culmorum*- ja *F. langsethiae* -sieniä vastaan. Lisäksi tarkasteltiin, onko lajikkeiden taudinkestävyys yhtä hyvä molempia sieniä vastaan. Puolella lajikkeista oli havaittavissa samanlainen kestävyys sekä *F. culmorum*- että *F. langsethiae* -sientä vastaan. Kolmella lajikkeella kestävyys oli parempi *F. langsethiae* -sientä vastaan ja ainoastaan yksi lajike vaikutti olevan alttiimpi *F. langsethiae*- kuin *F. culmorum* -sienelle.

Ilmastonmuutos ja muuttuvat viljelymenetelmät ovat tulevaisuudessa ratkaisevassa asemassa *Fusarium*-sienten aiheuttamien kasvitautien ja niiden erittämien toksiinien kannalta. Lämpenevä ilmasto ja lisääntyvä ilmankosteus luovat suotuisat elinolosuhteet sienille ja edesauttavat sienten selviytymistä yhä pohjoisemmilla alueilla. Erityisesti vähälumiset talvet ja runsastuneet sateet saattavat parantaa sienten selviytymismahdollisuuksia.

Lisääntynyt suorakylvö ja kevytluokkaus yhdistettynä yksipuoliseen viljan viljelyyn ovat selvästi kasvattaneet myös *Fusarium*-infektioiden määrää kaurakasvustoissa. Tulevaisuudessa viljelijöiden tulisi kiinnittää huomiota erityisesti lajikevalintaan ja käyttämiinsä viljelymenetelmiin. Monipuolisella viljelykierrolla pystytään vähentämään huomattavasti eri kasvitauteja, kuten punahomeita. Samalla peltoekosysteemin monimuotoisuus lisääntyy ja viljelymaan laatu paranee. Viljelykierto on tärkeä osa integroitua kasvinsuojelua ja sitä suositetaan erityisesti luonnonmukaisessa viljelyssä. Luomutuotannossa onkin havaittu olevan selkeästi vähemmän esimerkiksi *Fusarium*-tartuntoja verrattuna tavanomaiseen viljelyyn. Viljelykierron lisäksi viljelijä pystyy ehkäisemään kasvitauteja tehokkaasti käyttämällä sertifioitua kylvösiementä ja peitattua siementä. Terve kylvösiemen on laadukkaan ja hyvän sadon edellytys.

Nämä kaikki tekijät asettavat omat haasteensa tulevaisuuden lajikekehitykselle, erityisesti kestävyysjalostukselle. Kehittyvä tutkimus ja uusimmat tutkimustulokset kuitenkin helpottavat lajikkeiden kehitystyötä ja voivat omalta osalta olla vastaamassa tulevaisuuden haasteeseen.

11 KIITOKSET

Haluaisin kiittää MTT Jokioisten kasvintuotannon tutkimusyksikköä, joka mahdollisti pro gradu-aineistoni keruun. Kiitän lämpimästi erikoistutkija Marja Jallia MTT Jokioisten tutkimusyksiköstä ja professori Jari Valkosta Helsingin yliopiston Maataloustieteiden laitokselta työni ohjauksesta.

Suuri kiitos kuuluu myös Vitrinia-rakennuksen henkilökunnalle, erityisesti tutkimusmestari Marjaana Virtaselle, kannustavasta työilmapiiristä ja kaikista neuvoista. Haluan kiittää myös vanhempi tutkija Asko Hannukkalaa hänen avustaan työni tilasto-osuuden kanssa sekä vanhempi tutkija Päivi Parikkaa mielenkiintoisista keskusteluista ja avusta *Fusarium*-sienten tunnistamisessa. Kiitos kuuluu myös opponentilleni Johanna Anderssonille, hänen antamastaan rakentavasta palautteesta.

LÄHTEET

- Agrios, G.N. 2005. Plant pathology. 5 th edition. Elsevier Academic Press, USA. 922 s.
- Allison, P. D. 1999. Logistic regression using the SAS system: Theory and application. Cary, NC: SAS Institute Inc. 304 s.
- Andon, M.B. & Anderson, J.W. 2008. The oatmeal-cholesterol connection: 10 years later. *American Journal of Lifestyle Medicine* 2: 51-57.
- Bennett, J.W. & Klich, M. 2003. Mycotoxins. *Clinical Microbiology Reviews* 16: 497–516.
- Bernhoft, A., Clasen, P.E., Kristoffersen, A.B. & Torp, M. 2010. Less *Fusarium* infestation and mycotoxin contamination in organic than conventional cereals. *Food Additives and Contaminants* 27(6): 842–852.
- Bernhoft, A., Torp, M., Clasen, P. E., Løes, A. K. & Kristoffersen, A. B. 2012. Influence of agronomic and climatic factors on *Fusarium* infestation and mycotoxin contamination of cereals in Norway. *Food Additives and Contaminants* 29(7): 1129-1140.
- Bjørnstad, Å. & Skinnes, H. 2008. Resistance to *Fusarium* infection in oats (*Avena sativa* L.). *Cereal Research Communications* 36B: 57–62.
- Bottalico, A. & Perrone, G. 2002. Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with head blight in small-grain cereals in Europe. *European Journal of Plant Pathology* 108: 611–624.
- Buerstmayr, H., Legzdina, L., Steiner, B. & Lemmens, M. 2004. Variation for resistance to *Fusarium* head blight in spring barley. *Euphytica* 137: 279–290.
- Chambeil, A., Fourbet, J.F., Doré, T. & Rossignol, L. 2004. Influence of cropping system on *Fusarium* head blight and mycotoxin levels in winter wheat. *Crop Protection* 23: 531–537.

- Descriptions of Plant Viruses. 2012a. *Oat sterile dwarf virus*.
<http://www.dpvweb.net/dpv/showdpv.php?dpvno=217>. Tulostettu
 26.10.2012.
- Descriptions of Plant Viruses. 2012b. *Oat yellow dwarf virus*.
<http://www.dpvweb.net/dpv/showdpv.php?dpvno=32>. Tulostettu 26.10.2012.
- Doohan, F.M., Brennan, J. & Cooke, B.M. 2003. Influence of climatic factors on
Fusarium species pathogenic to cereals. European Journal of Plant Pathology
 109: 755–768.
- Edwards, S.G. 2009a. *Fusarium* mycotoxin content of UK organic and
 conventional wheat. Food Additives and Contaminants 26: 496–506.
- Edwards, S.G. 2009b. *Fusarium* mycotoxin content of UK organic and
 conventional oats. Food Additives and Contaminants 26: 1063–1069.
- Edwards, S.G., Barrier-Guillot, B., Clasen, P.E., Hietaniemi, V. & Pettersson, H.
 2009. Emerging issues of HT-2 and T-2 toxins in European cereal production.
 World Mycotoxin Journal 2: 173–179.
- Evira. 2008. *Fusarium* -toksiinit: saanti viljasta ja viljatuotteista aikuisilla
 Suomessa. Eviran tutkimuksia. Sähköinen painos:
www.evira.fi/files/products/1285583430934_fusarium_web.pdf. Julkaistu
 5/2008, viitattu 26.10.2012.
- Evira. 2012. Kasvinjalostajanoikeus, Suomen kasvilajiketiedote 2012:2.
 Sähköinen painos: [http://www.evira.fi/portal/fi/evira/julkaisut/?a=view
 &productId=288](http://www.evira.fi/portal/fi/evira/julkaisut/?a=view&productId=288) Päivitetty 2.10.2012, viitattu 2.10.2012.
- FAO. 2004. Worldwide regulations for mycotoxins in food and feed in 2003.
 FAO Food and Nutrition Papers No. 81. Food and Agriculture Organization
 of the United Nations, Rome.
- Foroud, N. A. & Eudes, F. 2009. Trichothecenes in cereal grains. International
 Journal of Molecular Sciences 10: 147–173.

- Gavrilova, O., Gagkaeva, T., Burkin, A., Kononenko, G. & Loskutov, I. 2008. Susceptibility of oat germplasm to *Fusarium* infection and mycotoxin accumulation in grains. Abstract V-*, Eighth International Oat Conference Minneapolis June 28-July 2.
- Goswami, R. S. & Kistler, H. C. 2004. Heading for disaster: *Fusarium graminearum* on cereal crops. *Molecular Plant Pathology* 5(6): 515–525.
- Hannukkala, A., Koponen, H. & Tuomola, J. 2010. KPAT402 Sienitaudinaiheuttajat, kurssimoniste. Helsingin yliopisto.
- Henriksen, B. 1999. Factors affecting *Fusarium* infection and mycotoxin contents in cereal grains. Väitöskirja. Agricultural University of Norway. 98 s.
- Henriksen, B. & Elen, O. 2005. Natural *Fusarium* grain infection level in wheat, barley and oat after early application of fungicides and herbicides. *Phytopathology* 153: 214–220.
- Hietaniemi, V., Kontturi, M., Rämö, S., Euroola, M., Kangas, A., Niskanen, M. & Saastamoinen, M. 2004. Contents of trichothecenes in oats during official variety, organic cultivation and nitrogen fertilization trials in Finland. *Agricultural and food science* 13: 54-67.
- Hofgaard, I., Aamot, H., Klemsdal, S., Elen, O., Jestoi, M. & Brodal, G. 2010. Occurrence of *Fusarium* spp. and mycotoxins in Norwegian wheat and oats. In: Hofgaard I, Fløistad E, editors. Nordic Baltic Fusarium Seminar (NBFS), Ski, Norway, 23–25 November 2010. *Bioforsk Fokus* 5(7): 9.
- Imathiu, S. M. 2008. *Fusarium langsethiae* infection and mycotoxin production in oats. Väitöskirja. Harper Adams University College, UK.
- Jalli, M. & Parikka, P. 2012. Kevätviljojen kasvitaudit. Teoksessa: Ahvenniemi, P. (toim.). Ajankohtaisia kasvinsuojeluohjeita. 15. uudistettu painos. Hämeenlinna. Kasvinsuojeluseura ry:n julkaisuja n:o 103. 39-56 s.
- Jennings, P. & Turner, J.A. 2000. Overview of *Fusarium* ear blight in the UK-effect of fungicide treatment on disease control and mycotoxin production.

BCPC (British Crop Production Council) Conference- Pests & Diseases 2000: 707-712.

Kasvinsuojeluseura ry. 2013. Kauran tasapainoinen kasvinsuojelu. <http://www.kasvinsuojeluseura.fi/Tasapainoinen/02Kaurantasapainoinenkasvinsuojelu/tabid/2069/Default.aspx>. Viitattu 2.5.2013.

Klemsdal, S.S., Aamot, H.U., Hofgaard, I.S., Elen, O. & Brodal, G. 2009. T-2 and HT-2 toxin and some other *Fusarium* toxins in Norwegian cereals. Paper presented at: 6th *Fusarium* Toxin Forum; 2009 Feb 9–10; Brussels, Belgium. Sähköinen painos: http://www.bezpecnostpotravin.cz/UserFiles/File/Kvasnickova/fusarium_16.pdf. Viitattu 5.11.2012.

Kokkonen, M., Ojala, L., Parikka, P. & Jestoi, M. 2010. Mycotoxin production of selected *Fusarium* species at different culture conditions. *International Journal of Food Microbiology* 143: 17-25.

Langseth, W. & Elen, O. 1996. Differences between barley, oats and wheat in the occurrence of deoxynivalenol and other trichothecenes in Norwegian grain. *Journal of Phytopathology* 144: 113-118.

Langseth, W. & Elen, O. 1997. The occurrence of deoxynivalenol in Norwegian cereals - Differences between years and districts, 1988-1996. *Acta Agriculturae Scandinavica* 47B: 176-184.

Liu, W., Langseth, W., Skinnes, H., Elen, O. & Sundheim, L. 1997. Comparison of visual head blight ratings, seed infection levels and deoxynivalenol production for assessment of resistance in cereals inoculated with *Fusarium culmorum*. *European Journal of Plant Pathology* 103: 589-595.

Maa- ja metsätalousministeriö. 2006. Kansallinen viljastrategia 2006-2015. s.9-10,16.Sähköinenpainos:http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/julkaisusarja/5iHf7Cv9D/Kansallinen_viljastrategia_10_2006.pdf. Julkaistu 10/2006, viitattu 4.11.2012.

- Maiorano, A., Blandino, M., Reyneri, A. & Vanara, F. 2008. Effects of maize residues on the *Fusarium* spp infection and deoxynivalenol (DON) contamination of wheat grain. *Crop Protection* 27: 182–188.
- Matilda. 2012a. Maataloustilastot. Käytössä oleva maatalousmaa. <http://www.maataloustilastot.fi/kaytossa-oleva-maatalousmaa>. Tulostettu 6.11.2012.
- Matilda. 2012b. Maataloustilastot. Viljatase. <http://www.maataloustilastot.fi/viljatase>. Tulostettu 6.11.2012.
- Matilda. 2012c. Maataloustilastot. Viljavarastoissa vuosikulutusta vastaava määrä ennen sadonkorjuuta. <http://www.maataloustilastot.fi/node/1691>. Tulostettu 6.11.2012.
- Matilda. 2012d. Maataloustilastot. Viljelykasvien sato alueittain 2011. <http://www.maataloustilastot.fi/satotilasto>. Tulostettu 6.11.2012.
- Matilda. 2012e. Maataloustilastot. Viljelykasvien sato 2011. <http://www.maataloustilastot.fi/satotilasto>. Tulostettu 6.11.2012.
- Matilda. 2012f. Maataloustilastot. Satotilasto, Sato ja viljasadon laatu 2011. <http://www.maataloustilastot.fi/satotilasto>. Tulostettu 6.11.2012.
- McMullen, M., Jones, R. & Gallenberg, D. 1997. Scab of wheat and barley: a re-emerging disease of devastating impact. *Plant Disease* 81: 1340–1348.
- Mesterhazy, A. 1995. Types and components of resistance to *Fusarium* head blight of wheat. *Plant breeding* 114: 377-386.
- Miedaner, T., Borchardt, D.C. & Geiger, H.H. 1993. Genetic analysis of inbred lines and their crosses for resistance to head blight (*F. culmorum* and *F. graminearum*) in winter rye. *Euphytica* 65: 123-133.
- Mossberg, B. & Stenberg, L. 2003. Suuri Pohjolan kasvio. 2. painos. Tammi. 928 s.

- Parikka, P., Hakala, K. & Tiilikkala K. 2012. Expected shifts in *Fusarium* species' composition on cereal grain in Northern Europe due to climatic change. Food Additives and Contaminants 2012: 1–13.
- Parikka, P., Hietaniemi, V., Rämö, S. & Jalli, H. 2008a. *Fusarium* infection and mycotoxin contents of oats under different tillage treatments. Session V-Talk, Eighth International Oat Conference Minneapolis June 28-July 2.
- Parikka, P., Hietaniemi, V., Rämö, S. & Jalli, H. 2008b. *Fusarium langsethiae* infection and mycotoxin contents of oats. In: IOC 2008 Minneapolis, MN. June 28-July 2. 1 s. (posteriastrakti).
- Parikka, P., Hietaniemi, V., Rämö, S. & Jalli, H. 2008c. Viljelytekniikan vaikutus viljan punahomeisiin ja toksiineihin. Maataloustieteen Päivät 2008, 10.-11.1.2008 (esitelmät ja posterit). Toim. Anneli Hopponen. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 23: 6 s.
- Parikka, P., Rämö, S. & Hietaniemi, V. 2008d. *Fusarium* infection and mycotoxins in Finnish cereals in 2005–2006. Journal of Plant Pathology 90: 56.
- Parry, D.W., Jenkinson, P. & McLeod, L. 1995. *Fusarium* ear blight (scab) in small grains - a review. Plant Pathology 44: 207–238.
- Peltonen-Sainio, P., Rajala, A. & Seppälä, R.T. 2005. Viljojen kehityksen ja kasvun ABC. Maa- ja elintarviketalous 67. Kasvintuotanto. s. 28. Sähköinen painos: <http://www.mtt.fi/met/pdf/met67.pdf>. Julkaistu 2005, viitattu 9.1.2013.
- Pinkka. 2012. Lajintuntemuksen oppimisympäristö. <http://pinkka.helsinki.fi/virtuaalikasvio/plant.php?id=1897>. Tulostettu 14.11.2012.
- Pinnschmidt, H.O. & Justesen, A.F. 2005. Compensating damage effects of seed-borne *Fusarium culmorum* and *Microdochium nivale* in winter wheat by increased seeding rates. Danish Institute for Agricultural Sciences, Plant Protection Division, Flakkebjerg Research Center. Posteriastrakti. 1 s.

- Pirgozliev, S.R., Edwards, S.G., Hare, M.C. & Jenkinson, P. 2003. Strategies for the control of *Fusarium* head blight in cereals. *European Journal of Plant Pathology* 109: 731–742.
- SAS Institute Inc. 1999. SAS/STAT® User's Guide, Version 8, Cary, NC: SAS Institute Inc. p. 1365-1462.
- Schoustra, S. E., Debets, A. J. M., Slakhorst, M. & Hoekstra, R. F. 2006. Reducing the cost of resistance; experimental evolution in the filamentous fungus *Aspergillus nidulans*. *Journal of Evolutionary Biology* 19: 1115-1127.
- Shwab, E.K. & Keller, N.P. 2008. Regulation of secondary metabolite production in filamentous ascomycetes. *Mycological Research* 112: 225–230.
- Simpson, D.R., Weston, G.E., Turner, J.A., Jennings, P. & Nicholson, P. 2001. Differential control of head blight pathogens of wheat by fungicides and consequences for mycotoxin contamination of grain. *European Journal of Plant Pathology* 107: 421–431.
- Snijders, C.H.A. 1990. Genetic variation for resistance to *Fusarium* head blight in bread wheat. *Euphytica* 50: 171-179.
- Stephens, A.E., Gardiner, D.M., White, R.G., Munn, A.L. & Manners, J.M. 2008. Phases of infection and gene expression of *Fusarium graminearum* during crown rot disease of wheat. *Molecular Plant–Microbe Interactions* 21: 1571–1581.
- Sutton, J.C. 1982. Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. *Canadian Journal of Plant Pathology* 4: 195–209.
- Tekauz, A., Mitchell Fetch, J.W., Rosnagel, B. & Savard, M.E. 2008. Progress in assessing the impact of *Fusarium* head blight on oat in western Canada and screening of *Avena* germplasm for resistance. *Cereal Research Communications* 36B: 49–56.

- Tekle, S., Skinnes, H. & Bjørnstad, Å. 2013. The germination problem of oat seed lots affected by *Fusarium* head blight. *European Journal of Plant Pathology* 135: 147-158.
- Torp, M. & Nirenberg, H.I. 2004. *Fusarium langsethiae* sp. nov. on cereals in Europe. *International Journal of Food Microbiology* 95: 247-256.
- Trail, F., Xu, H., Loranger, R. & Gadoury, D. 2002. Physiological and environmental aspects of ascospore discharge in *Gibberella zeae*. *Mycologia* 94: 181-189.
- Van der Fels-Klerx, H.J. & Stratakou, I. 2010. T-2 toxin and HT-2 toxin in grain based commodities in Europe: occurrence, factors affecting occurrence, co-occurrence and toxicological effects. *World Mycotoxin Journal* 3: 349–367.
- Vilja-alan yhteistyöryhmä. 2012. VYR esite. Punahomeet viljassa: Viljelytekniiset toimenpiteet homeetoksiiniriskin pienentämiseksi.
- Xu, X.M., Nicholson, P. & Ritieni, A. 2007. Effects of fungal interactions among *Fusarium* head blight pathogens on disease development and mycotoxin accumulation. *International Journal of Food Microbiology* 119: 67–71.
- Yan, W., Fregeau-Reid, J., Rioux, S., Tamburic-Ilincic, L., Martin, R., Pageau, D., Lajeunesse, J., de Haan, B., Savard, M. & Xue, A. 2008. Current status of oat FHB in Eastern Canada. Abstract V-9, Eighth International Oat Conference Minneapolis June 28-July 2.
- Ylimäki, A., Koponen, H., Hintikka, E.-L., Nummi, M., Niku-Paavola, M.-L., Ilus, T. & Enari, T.M. 1979. Mycoflora and occurrence of *Fusarium* toxins in Finnish grains. Technical Research Centre of Finland, Materials and Processing Technology Publication 21. Valtion painatuskeskus. Helsinki. 1–28 s.
- Yli-Mattila, T., Paavanen-Huhtala, S. & Parikka, P. 2002. Occurrence of *Fusarium* fungi and their toxins in Finnish cereals in 1998 and 2000. *Journal of Applied Genetics* 43A: 207–214.

- Yli-Mattila, T., Paavanen-Huhtala, S., Parikka, P., Konstantinova, P. & Gagkaeva, T.Y. 2004. Molecular and morphological diversity of *Fusarium* species in Finland and northwestern Russia. *European Journal of Plant Pathology* 110: 573–585.
- Yli-Mattila, T., Parikka, P., Lahtinen, T., Rämö, S., Kokkonen, M., Rizzo, A., Jestoi, M. & Hietaniemi, V. 2008. Kvantitatiivinen PCR-pikamääritysmenetelmä viljojen *Fusarium*-homeille. Maataloustieteen Päivät 2008, 10.-11.1.2008 (esitelmät ja posterit). Toim. Anneli Hopponen. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 23: 7 s.
- Zadoks, J.C., Chang, T.T. & Konzak, C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415-421.
- Zinedine, A., Soriano, J. M., Molto, J. C. & Manes, J. 2007. Review on the toxicity, occurrence, metabolism, detoxification, regulations and intake of zearalenone: an oestrogenic mycotoxin. *Food and Chemical Toxicology* 45: 1-18.

LIITE 1 Viljojen kasvuasteet

Taulukko 2. Zadoksin desimaalasteikko viljojen kasvuvaiheiden kuvaajana. Vastaavuus Feeksin asteikon kanssa ilmaistu sulkeissa (Zadoks ym. 1974).

Numerokoodi	Kuvaus
	<u>Itäminen</u>
00	Kuiva siemen
01	Siemen alkaa imeä vettä
02	-
03	Veden imeytyminen siemeneen täydellistä
04	-
05	Sirkkajuuri tunkeutuu esiin siemenestä
06	-
07	Koleoptiili eli itutuppi tunkeutuu esiin siemenestä
08	-
09	Sirkkalehti näkyvillä aivan koleoptiilin kärjessä
	<u>Oraan kasvu</u>
10 (1)	Sirkkalehti tunkeutuu ulos suojaavasta itutupesta
11 (1)	Sirkkalehti täysin avautunut
12	Toinen lehti täysin avautunut
13	Kolmas lehti täysin avautunut
14	Neljäs lehti täysin avautunut
15	Viides lehti täysin avautunut
16	Kuudes lehti täysin avautunut
17	Seitsemäs lehti täysin avautunut
18	Kahdeksas lehti täysin avautunut (ei yleisesti Suomessa)
19	Yhdeksäs lehti täysin avautunut (ei yleisesti Suomessa)
	<u>Versominen</u>
20	Vain pääverso
21 (2)	Pääversion lisäksi yksi sivuverso esillä
22	Pääversion lisäksi kaksi sivuversoa esillä
23	Pääversion lisäksi kolme sivuversoa esillä
24	Pääversion lisäksi neljä sivuversoa esillä
25	Pääversion lisäksi viisi sivuversoa esillä
26 (3)	Pääversion lisäksi kuusi sivuversoa esillä (ei yleisesti Suomessa)
27	Pääversion lisäksi seitsemän sivuversoa esillä (ei yleisesti Suomessa)
28	Pääversion lisäksi kahdeksan sivuversoa esillä (ei yleisesti Suomessa)
29	Pääversion lisäksi vähintään yhdeksän sivuversoa esillä (ei yleisesti)
	<u>Korren piteneminen</u>
30 (4-5)	Pääverso pysty
31 (6)	Ensimmäinen nivel tunnistettavissa
32 (7)	Toinen nivel tunnistettavissa
33	Kolmas nivel tunnistettavissa
34	Neljäs nivel tunnistettavissa
35	Viides nivel tunnistettavissa
36	Kuudes nivel tunnistettavissa
37 (8)	Lippulehti näkyvillä, muttei avautunut

38	-
39 (9)	Lippulehden korvake näkyvillä
40	-
41	Lippulehden tuppi laajenemassa
42	-
43	Lippulehden tuppi juuri näkyvästi turvonnut
44	-
45 (10)	Lippulehden tuppi voimakkaasti turvonnut, mutta chyt
46	-
47	Lippulehden tuppi raottunut auki antaen tietä laajenneelle tähkälle
48	-
49	Ensimmäiset vihneet näkyvillä <u>Kukinnan esiintulo</u>
50 (10.1)	Ensimmäinen tähkylä juuri näkyvillä
51	-
52 (10.2)	Neljännes kukinnosta näkyvillä
53	-
54 (10.3)	Puolet kukinnosta näkyvillä
55	-
56 (10.4)	Kolme neljännestä kukinnosta näkyvillä
57	-
58 (10.5)	Kukinto kokonaan ulkona tupesta
59	- <u>Kukinta</u>
60 (10.5.1)	Kukinta aluillaan
61-63	-
64	Kukinta puolivälissä
65-67	-
68	Kukinta täydellistä
69	- <u>Maitovaihe</u>
70	-
71 (10.5.4)	Jyvä vetinen
72	-
73 (11.1)	Jyvä aikaisessa maitovaiheessa
74	-
75 (11.1)	Jyvä maitovaiheen keskivaiheilla
76	-
77 (11.1)	Jyvä myöhäisessä maitovaiheessa
78-79	- <u>Taikinavaihe</u>
80-82	-
83 (11.2)	Aikainen taikinavaihe
84	-
85 (11.2)	Pehmeä taikinavaihe
86	-

87 (11.2)	Kova taikinavaihe
88-89	-
	<u>Tuleentuminen</u>
90	-
91 (11.3)	Jyvä kova, vaikea halkaista kynnellä
92 (11.4)	Jyvä kova, ei voi halkaista kynnellä
93	Jyvä 'irtonainen'
94	Kasvusto ylituleentunut, olki ränsistynyt
95	Jyvä dormanssissa eli itämislevossa
96	Jyvistä puolet itämiskykyisiä
97	Jyvät vapautuneet itämislevosta
98	Jyvä vaipunut sekundaariseen itämislepoon
99	Jyvä vapautunut sekundaarisesta itämislevosta

LIITE 2

PCBN-maljojen valmistusohje

Litran seokseen tarvitaan: 15g peptoni

20 g agar

1 g KH_2PO_4

0,5 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

1000 ml H_2O (tislattu tai MQ-vesi)

1 g PCNB

0,3 g streptomysiini sulfaatti

- ohjelman numero agarkeitimessä: 02
- agarkeittimeen tai autoklavoidaan $121\text{ }^\circ\text{C}$:ssa 20 min.,
jonka jälkeen lisätään streptomysiini sulfaatti (alle $50\text{ }^\circ\text{C}$:een liuokseen)
- valetaan maljoille

PDA-maljojen valmistusohje

Litran seokseen tarvitaan: 39 g perunadekstroosiagar

1000 ml H_2O (tislattu tai MQ-vesi)

- ohjelman numero agarkeitimessä: 01
- agarkeittimeen tai autoklavoidaan $121\text{ }^\circ\text{C}$:ssa 20 min.
- valetaan maljoille
- 20 ml/malja, litran seoksesta saadaan noin 50 maljaa

LIITE 3 Peltokasvien sadonlaatu, virallinen itävyysmääritys

1.6 ITÄVYYS

1.6.1 Idätys (Paperikäärö)

Siementen itävyys määritetään ruutusatonaäytteestä. Idätyspapereina käytetään Munktell 1750 (220x400 mm) ja muovipintaista Munktell 1755 (190x400 mm) -erikoispapereita. Ennen siementen itämää laittamista idätyspapereita liotetaan noin 2 tuntia vedessä, minkä jälkeen liika vesi valutetaan pois (n. 10-15 minuuttia). Isommalle imupaperille lasketaan 100 siementä esim. käyttämällä reikälevyä, jossa on kolot 100 siemenelle. Työn aikana valitaan rikkiäiset siemenet pois ja tarkistetaan, että vain yksi siemen on paikassaan. Pienempi paperi asetetaan siementen päälle muovipinta siemeniä vasten niin, että paperien yläreunat ovat vastakkain. Isomman paperin ylimääräinen alareuna taitetaan pienemmän paperin päälle. Paperi käänritään löysähkölle rullalle ja laitetaan (taittamaton reuna edellä) koe- ja ruututunnuksin varustettuun muovipussiin, josta yksi kulma on leikattu auki ilmanvaihdon varmistamiseksi. Muovipussit sidotaan löysähkösti kumilenkillä, ylimääräinen pussinsuu leikataan pois ja kääröt laitetaan muovikoriin pystyasentoon niin, että taitettu reuna (ja avonainen pussinsuu) on alaspäin.

Kääröjä säilytetään ensin kylmiössä (n. +10°C) 7 vrk ja lopuksi huoneenlämmössä (n. 20°C) 3 vrk. Tämän jälkeen lasketaan normaalisti itäneet siemenet, joissa on vähintään 2 tervettä juurta ja noin 1 cm pituinen itutuppi. Loput siemenet ovat itämättömiä. Tulos kirjataan lomakkeelle **KE12.K4**.